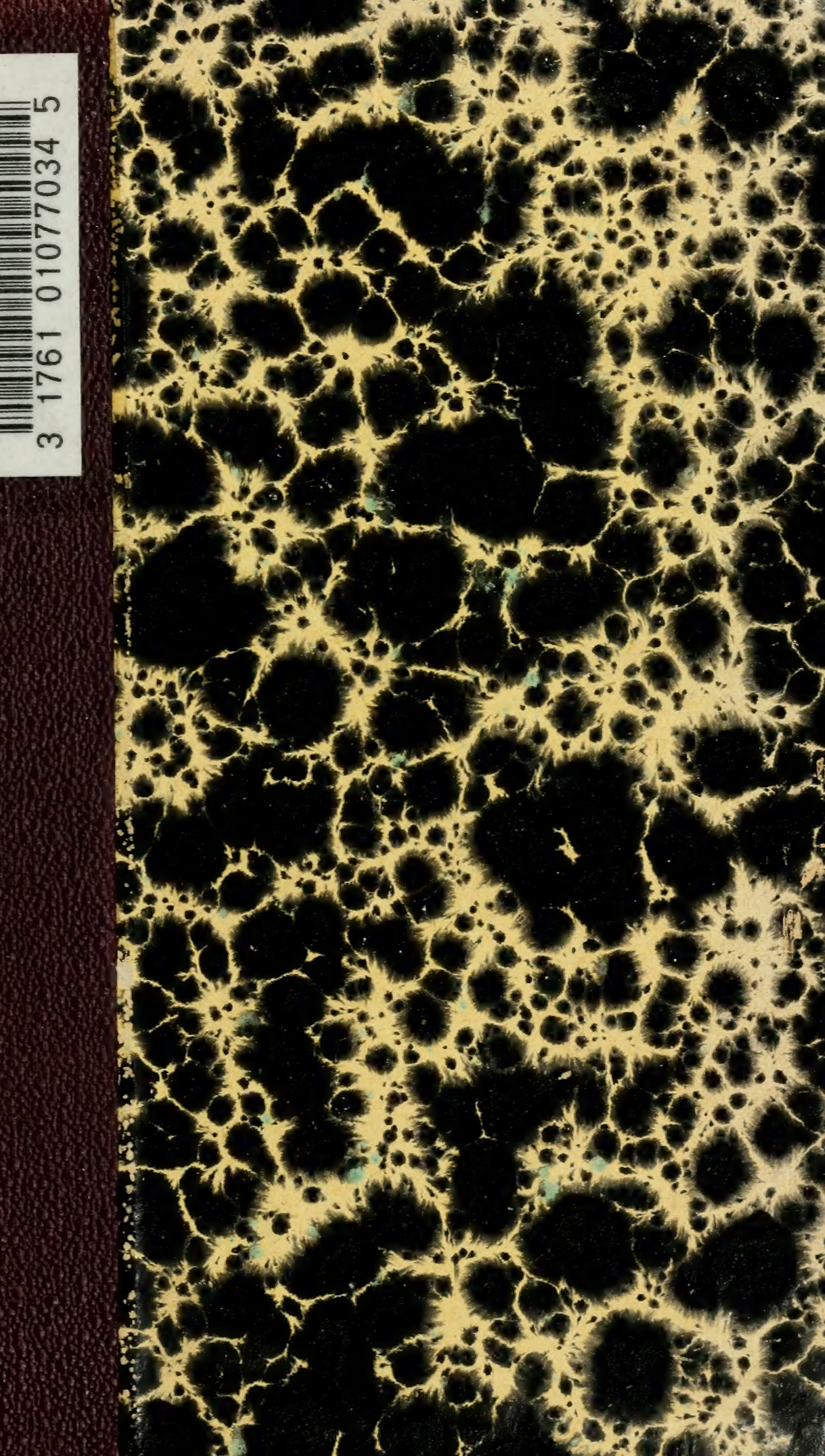
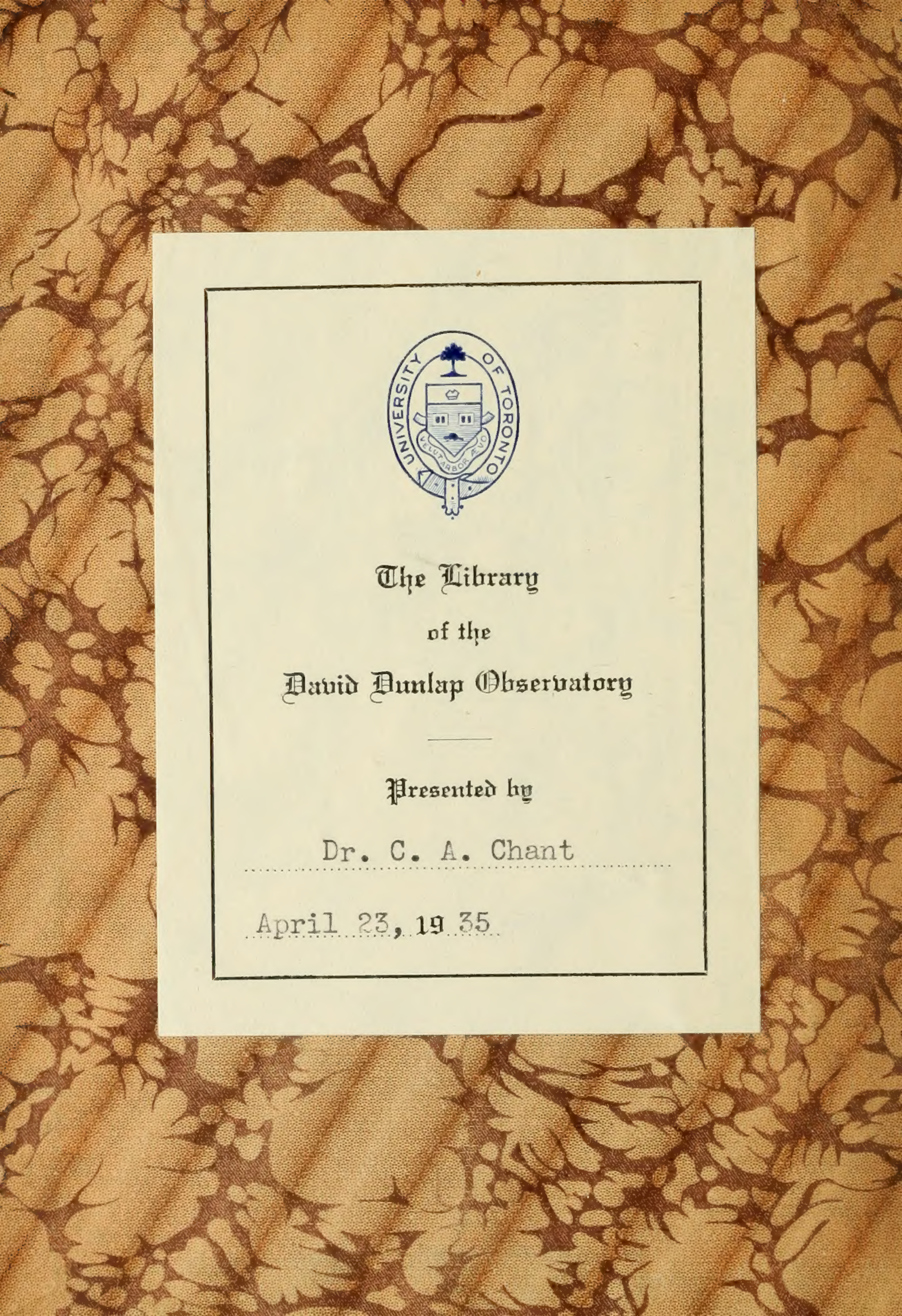



UNIVERSITY OF TORONTO
VELUT ARBOR ÆVO



cabhart
April 1921

Les
Enigmes de la Science

LES ENIGMES DE LA SCIENCE

PAR

l'Abbé Th. MOREUX

Directeur
de l'Observatoire de Bourges

Avec figures dans le texte et planches hors texte

PARIS

LIBRAIRIE OCTAVE DOIN
GASTON DOIN, ÉDITEUR
8, Place de l'Odéon, 8

1921

Les Révélations Mystérieuses
de la
Grande Pyramide

Lorsque le touriste se rend du Caire à Giseh par une route ombreuse voilée d'acacias, il ne tarde pas à apercevoir, derrière la plage de verdure formée par les champs cultivés, la grande tache jaune du désert africain. C'est là-bas que commence le steppe brûlé, et c'est au seuil de l'immense plaine que se profile dans l'or rutilant du couchant le sommet des Pyramides.

La plus grande, celle de Khéops, le Khouvou des inscriptions hiéroglyphiques, attire immédiatement l'attention par ses proportions fantastiques. Devant cet entassement colossal de blocs amoncelés par des armées d'esclaves, l'esprit est saisi de terreur et l'on songe involontairement au but que poursuivaient les Pharaons et les prêtres égyptiens en accumulant ces énormes rochers taillés régulièrement sur toutes leurs

faces et disposés sous une forme géométrique définie.

Les guides, qui ne manquent point dans la contrée, les livres que vous pourrez consulter en la circonstance, les archéologues qui déchiffrent à la loupe les inscriptions hiéroglyphiques, vous diront que les pyramides ne sont que les stèles funéraires, ou, mieux, les tombeaux des rois puissants de ces époques lointaines.

Que de luxe, que d'efforts, que de vie d'hommes employées à perpétuer le souvenir des dynasties égyptiennes !

On comprend les temples gigantesques élevés aux Bouddhas indiens, les sanctuaires ruinés de Memphis et de Louqsor ; ceux qui viendront après nous, lorsque nos civilisations modernes auront disparu, comprendront tout autant les restes de nos cathédrales gothiques élevant leurs forêts de piliers vers le ciel. Il y a là un hommage rendu à la divinité, l'expression d'un culte que nous retrouvons partout où l'homme a vécu, à toutes les périodes de l'histoire et même de la préhistoire.

Mais qu'on entasse des milliers de mètres cubes de rocs géométriquement taillés pour honorer un roi de la terre, pour ensevelir une momie ficelée, embaumée et desséchée, il semble qu'il y ait là un prodige d'aberration de l'orgueil humain, et la raison, qui cherche la cause véritable des grandes entreprises, ne se tient pas pour satisfaite lorsqu'un archéologue, fût-il le plus érudit des savants, vient nous affirmer que les pyramides ne sont que les tombeaux des Pharaons.

Et cependant les faits paraissent donner à l'hypothèse une réelle vraisemblance.

Chaque pyramide comprenait des couloirs, des antichambres, des chambres funéraires dont les entrées étaient habilement dissimulées par les architectes : on assurait ainsi, pensait-on, jusqu'à un certain point, l'inviolabilité du tombeau.

Le monument devait être orienté suivant les quatre points cardinaux, mais, soit négligence, soit maladresse, cette orientation n'est pas plus précise que celle de nos sanctuaires et de nos cathédrales actuels, dont le chevet devrait par tradition être constamment tourné vers l'Est.

Des hiéroglyphes, déchiffrés par les Champollion, couvraient les revêtements intérieurs des couloirs ou des chambres. C'étaient les récits enthousiastes des hauts faits du défunt. Tout en perpétuant sa mémoire à travers les siècles à venir, ces glorieux récits du passé devaient assurer à son double et à son âme une nourriture suffisante pour la vie future.

Et, de fait, certaines pyramides conservent encore dans leurs chambres funèbres les momies royales déposées là depuis des siècles.

Mais ces pyramides ont-elles été construites dans le but unique de servir de tombeau ? En l'affirmant, nos archéologues modernes pourraient bien commettre une erreur aussi grossière que les savants qui, dans soixante siècles en fouillant les ruines et les cryptes de nos cathédrales, découvriraient les tombeaux de nos évêques ou de nos rois, et concluraient, de ces intéressantes trouvailles, que nos

merveilleux monuments avaient été élevés en l'honneur de leurs restes.

En bien des cas les pyramides égyptiennes ont servi de lieu de sépulture, mais une idée plus élevée a dû, selon nous, présider à leur construction.

Au surplus, ce qui pourrait le démontrer, c'est précisément l'existence de la plus grande d'entre elles, celle de Khéops, construite sous la quatrième dynastie qui régna quatre mille ans environ avant l'ère chrétienne.

La construction en est extrêmement soignée, mais on n'y a découvert presque aucune trace d'inscriptions.

Jusqu'à la conquête arabe, elle garda un revêtement de pierres de couleurs diverses si habilement assemblées qu'on eût dit un seul bloc du pied au sommet.

On mit longtemps à découvrir l'entrée des couloirs aboutissant aux chambres intérieures. Ces chambres, au nombre de trois, ont reçu des dénominations fantaisistes : chambre du roi, chambre de la reine, chambre souterraine. Elles ne portent aucune trace de décorations, aucune indication de nature à nous renseigner sur l'objet auquel on les destinait.

A la place du sarcophage, dans la chambre du roi, se dresse une auge en pierre merveilleusement taillée.

La grande pyramide n'est donc pas un tombeau. Alors, dans quel but l'a-t-on élevée ? Mystère.

Les prêtres égyptiens, ces merveilleux savants de l'antiquité, ont-ils voulu fixer en un monument impérissable les données précises qu'ils avaient accu-

mulées sur la science des astres, et les notions scientifiques de leur époque ? Pourquoi non ?

Mais alors nous nous glorifions de découvertes connues depuis six mille ans !

Autre question : Comment les savants de ces temps lointains étaient-ils parvenus à mesurer la Terre et à scruter la profondeur du ciel ?

Au reste, le mécanisme importe peu, mais les faits sont là et, devant les constatations troublantes, devant les révélations numériques de la Grande Pyramide, devant les indications et les enseignements qu'elle nous donne sur la science égyptienne, on comprend l'attitude du Sphinx monstrueux qui, les regards tournés vers le lointain horizon, devait garder les secrets des prêtres antiques.

Les premières révélations sur la Grande Pyramide remontent à la fin du dix-huitième siècle.

Lorsque les savants de l'expédition de Bonaparte résolurent d'effectuer la triangulation de l'Égypte, la Grande Pyramide leur servit de point de départ d'un méridien central qu'ils prirent pour origine des longitudes dans la région.

Or, quel ne fut pas leur étonnement lorsqu'ils constatèrent que les diagonales prolongées de la pyramide renferment très exactement le delta du Nil ; que le méridien, c'est-à-dire la ligne nord-sud passant par le sommet, divise le delta en deux secteurs rigoureusement égaux. Evidemment, ceci ne peut être attribué au hasard, ce résultat est voulu et il nous faut conclure que les constructeurs de cet immense monument étaient des géomètres de première force.

Mais il y a mieux, et un examen approfondi montre qu'ils étaient des géographes hors pair.

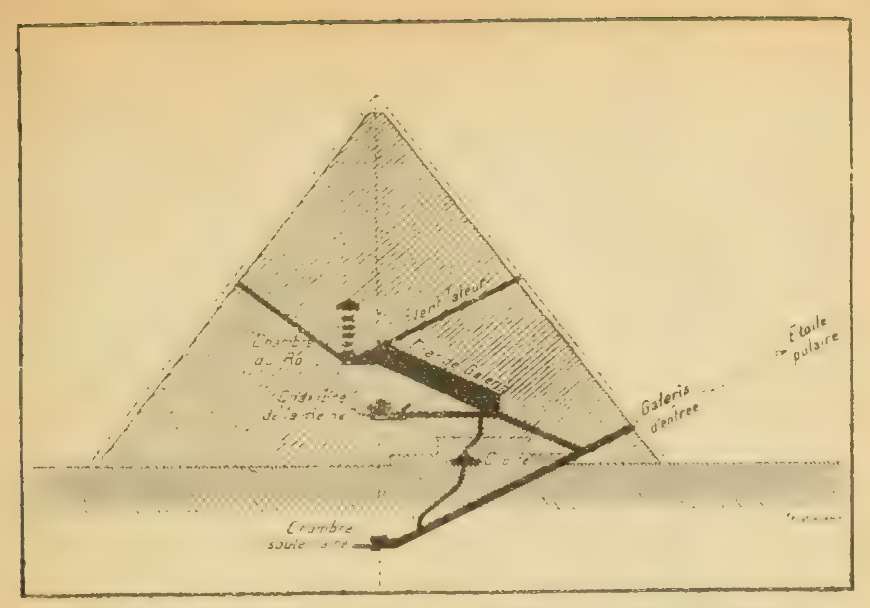
De tous les méridiens du globe, celui de la grande pyramide est le méridien idéal, puisqu'il est celui qui traverse le plus de continents et le moins de mers. Il est, d'ailleurs, exclusivement océanique à partir du détroit de Behring ; et, chose plus extraordinaire encore, si l'on calcule exactement l'étendue des terres que l'homme peut habiter, il se trouve que ce fameux méridien les partage en deux parties rigoureusement égales.

J'avais donc raison de le qualifier d'idéal, puisque c'est le seul qui soit fondé sur la nature des choses, le seul, par conséquent, qui ait une véritable raison d'être.

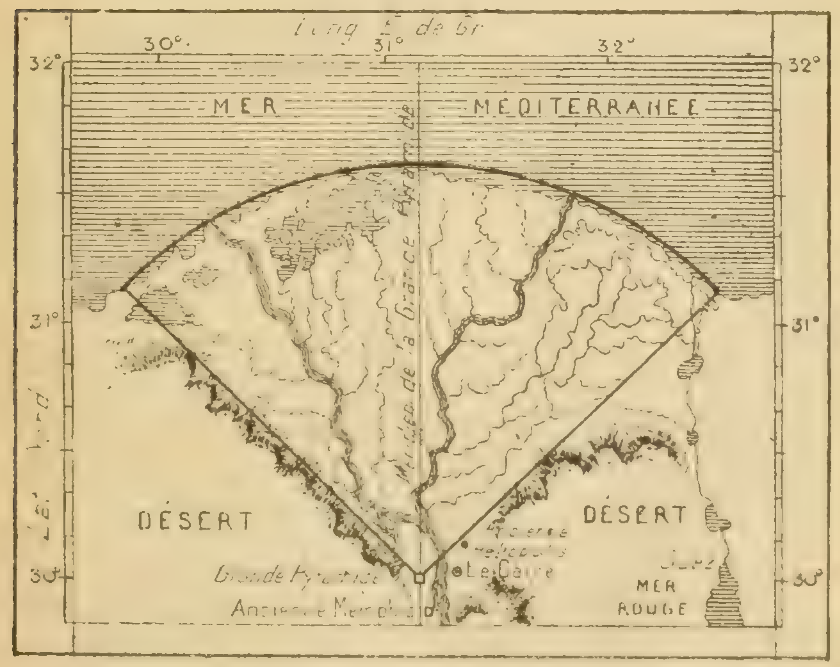
Si maintenant nous tirons un cercle parallèle à l'équateur et passant par le trentième degré de latitude, nous pouvons constater que ce cercle est celui qui renferme le plus d'étendue continentale.

Eh bien ! la latitude du sommet de la pyramide s'en rapproche étonnemment puisqu'elle a comme valeur 29°58'51". On crut tout d'abord à une erreur très faible de détermination, mais je ne le pense pas et voici pourquoi.

Si l'architecte avait calculé la place du monument de façon qu'un observateur placé au pied de l'édifice vît le pôle du ciel à une hauteur de 30 degrés exactement, il aurait dû précisément tenir compte d'un phénomène connu sous le nom de réfraction atmosphérique. En raison de la densité des couches d'air, un rayon lumineux entrant dans notre atmosphère est dévié de sa route, nous ne le voyons



Coupe de la Grande Pyramide de Chéops, montrant les chambres et les couloirs intérieurs. L'une des galeries était dirigée vers l'Étoile polaire de l'époque.



Les diagonales de la Grande Pyramide, prolongées, renferment exactement le delta du Nil et le méridien passant par le sommet de l'édifice divise le delta en deux parties égales.

donc pas à son emplacement réel. Or, dans le cas qui nous occupe, le calcul montre que le milieu de la pyramide doit être théoriquement, à 29°58'51" et 22 centièmes.

Les deux chiffres sont donc absolument identiques à 22 centièmes de seconde près ; l'écart est insignifiant et la concordance ne peut être plus parfaite.

En supposant que nous soyons en présence de coïncidences fortuites, il faut avouer qu'elles sont du moins très remarquables, et nous sommes loin de les avoir épuisées.

L'orientation des Pyramides, je l'ai déjà fait remarquer, est toujours très approximative. Il n'en est pas de même de la direction de la pyramide de Khéops. Les quatre côtés lui servant de base regardent exactement les quatre points cardinaux, puisque l'écart est à peine de 4 minutes et demie. Cette exactitude, vraiment extraordinaire quand on songe aux difficultés que nous rencontrons pour déterminer l'orientation d'un édifice même de nos jours à l'aide de la boussole, montre que l'architecte a dû employer des moyens astronomiques fournis par une science très avancée. Ici, le système des coïncidences fortuites n'est plus admissible, il faut en convenir bon gré mal gré.

Si nous passons dans un autre ordre d'idées, nous allons faire d'aussi curieuses constatations.

Hérodote rapporte que les prêtres égyptiens lui avaient enseigné que les proportions établies pour la Grande Pyramide entre le côté de la base et la hauteur étaient telles que le carré construit sur la

hauteur verticale égalait très exactement la surface de chacune des faces triangulaires, et c'est bien, en effet, ce qu'ont vérifié les mesures modernes. Cette indication montre au reste que de tout temps la pyramide de Khéops a passé pour être un monument dont les proportions ont été calculées à l'origine en vue de relations mathématiques.

En voici une nouvelle preuve : on sait qu'entre une circonférence et son diamètre, il y a un rapport constant bien connu actuellement des enfants de nos écoles. Pour calculer la longueur d'une circonférence, il suffit de multiplier le diamètre par 3,1416.

Les géomètres de l'antiquité connaissaient ce rapport d'une façon approchée seulement.

Or, en additionnant les quatre côtés de la base de la pyramide dont la valeur était primitivement, pour un côté, de 232 m. 805, on trouve pour le périmètre, c'est-à-dire pour le contour entier, 931 m. 22.

Divisons maintenant ce nombre par deux fois la hauteur de la pyramide, ou 148 m. 208, nous trouvons exactement 3,1416, c'est-à-dire le rapport de la circonférence au diamètre.

Ce monument unique au monde est donc la consécration matérielle du nombre Pi qui a joué un rôle si important dans l'histoire des mathématiques. Les prêtres égyptiens avaient donc des notions extrêmement précises sur une foule de questions que les savants des siècles postérieurs ont cru découvrir. Connaissaient-ils nos instruments d'optique ? Il est permis de se le demander après la constatation que j'ai faite ces années dernières.

C'était au mois d'août 1905. Après être allé étu-

dier l'éclipse totale de soleil visible à Sfax, ma mission avait résolu de visiter la Tunisie. Un pèlerinage à Carthage, si célèbre dans l'histoire, s'imposait forcément. De l'ancienne nécropole, il ne reste plus rien d'ailleurs qu'un village de blanches demeures assis devant l'emplacement de ce qui fut autrefois le port abritant les terribles vaisseaux carthaginois. C'est là que les Pères blancs ont établi leur séminaire et bâti la belle cathédrale dont les murs ensoleillés se détachent en tons crus sur le fond bleu du ciel. La vieille Carthage n'existe plus, mais des mains pieuses pour tout ce qui regarde l'antique civilisation disparue ont entrepris des fouilles et ressuscité ces temps de la lointaine histoire.

Le Père Delattre nous fit les honneurs de son merveilleux musée et j'avoue que cette visite a été pour nous tous une véritable révélation. Comme je m'extasiais devant un camée finement gravé et qui représentait un cheval se grattant l'oreille, je ne pus m'empêcher de faire tout haut cette réflexion :

— Les graveurs de cette époque ne pouvaient avoir des yeux meilleurs que les nôtres ; alors comment dans un si petit espace a-t-on pu représenter tant de détails, donnez-moi une loupe pour examiner cette crinière...

Et tout le monde fut forcé d'admettre que, même à cette époque, on connaissait le travail du verre et les propriétés des lentilles.

— N'avez-vous jamais trouvé, ajoutai-je en me tournant vers le Père Delattre, quelque objet rappelant les loupes de nos horlogers ?

Mais déjà le religieux avait compris et, une minute après il tenait à la main, une véritable loupe, plan convexe, de la grandeur d'un bouton de pardessus. Malheureusement, la lentille était opaque : recueillie dans un tombeau, après des siècles de séjour, il n'y avait rien d'étonnant à ce qu'un lent travail se fut effectué pour opaliser ce verre, autrefois transparent peut-être.

L'objection eût été sérieuse cependant, si le Père Delattre ne nous eût montré une pièce du même genre, en cristal de roche cette fois, taillée d'une façon parfaite. Et ce fut la loupe dont nous nous servîmes pour étudier le camée.

Les peuples anciens connaissaient donc les propriétés des lentilles.

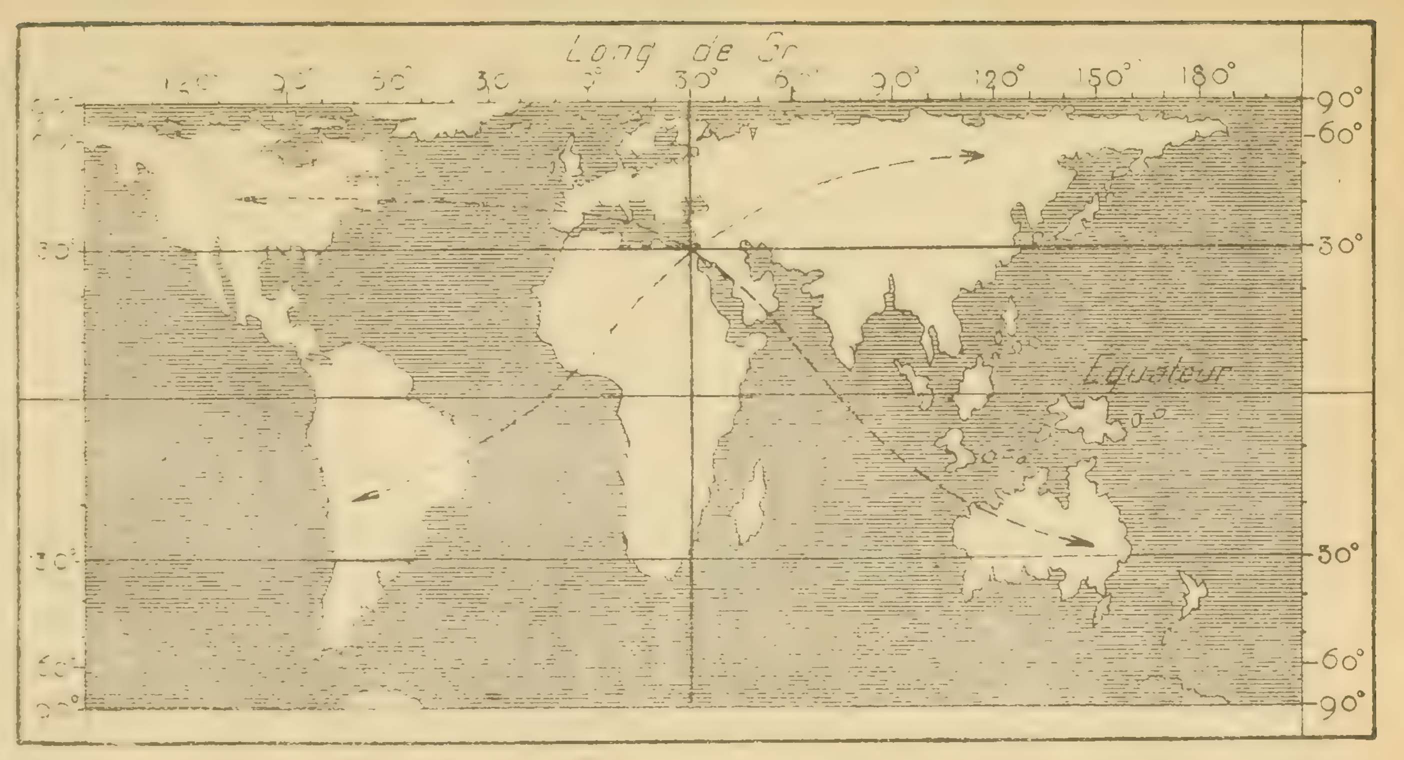
J'ai rappelé cette histoire pour corroborer les dires analogues d'Arago, dans son Astronomie populaire. Or, de la loupe au microscope et à la lunette, il n'y a qu'un pas, et nous allons voir que ce pas, les prêtres égyptiens l'avaient probablement franchi. Ce sera du moins la conclusion obligée que nous imposeront les révélations astronomiques de la grande pyramide.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur l'histoire de l'Astronomie pour se rendre compte des efforts dépensés depuis des siècles pour arriver à connaître la distance de la Terre au Soleil. Au début de leurs recherches, les Grecs imaginaient le Soleil de la grosseur du Péloponèse et fixaient sa distance à 15 kilomètres équivalemment. Aristarque de Samos le croyait plus éloigné ; le nombre qu'il admettait — 8 millions de kilomètres — fut jugé exact par

Ptolémée, Copernic et même Tycho-Brahé. Képler porta cette distance à 58 millions. Sous Louis XIV on l'évalua à 125 millions ; on était loin de la vérité. Il fallait arriver jusqu'en 1864 pour trouver un chiffre à peu près convenable. Dans ces dernières années, grâce au progrès de la photographie céleste, les astronomes ont pu déterminer d'une façon très rapprochée la distance qui nous sépare de l'astre central et, d'après les mesures récentes, il faut adopter le chiffre de 149 400 000 kilomètres en nombres ronds.

Eh bien, en multipliant la hauteur de la Grande Pyramide par un million, on trouve la distance du Soleil à la Terre en kilomètres, soit 148 208 000 kilomètres. Cette mesure n'est évidemment qu'approchée, mais le chiffre obtenu constitue une approximation bien supérieure à celle que présentait la valeur officielle de cette distance avant 1860 et qui était d'un peu plus de 154 millions de kilomètres.

Ainsi, alors que, pendant des siècles, les nations civilisées dépensaient des sommes fabuleuses, que des savants n'hésitaient pas à risquer leur vie dans des expéditions lointaines pour résoudre " le plus important problème astronomique ", n'est-il pas extraordinaire de penser que cette solution était symbolisée et monumentalisée pour ainsi dire dans la Grande Pyramide depuis des milliers d'années ; qu'il eût suffi à nos astronomes modernes de savoir lire les symboles cachés dans ces dimensions et que les constructeurs de ce grand édifice étaient arrivés à une approximation dont nous aurions été fiers à bon droit à la fin du XIXe siècle ?



Le Méridien de la Grande Pyramide est celui qui traverse le plus de continents ; il divise aussi les terres émergées à l'Est et à l'Ouest en deux parties de superficie égale.

Les astronomes égyptiens n'avaient pas borné là leurs calculs, ils avaient dû mesurer la Terre et la coudée égyptienne paraît fondée sur les dimensions de notre globe. En ces derniers temps, le célèbre astronome Clarke a déduit des mesures récentes le rayon polaire de la Terre : on peut l'évaluer à 6 356 521 mètres. Or, ce n'est autre que la coudée pyramidale, soit 0,6356521 multipliée par 10 millions. Ainsi les Egyptiens auraient mesuré avec une extrême approximation différents degrés du méridien, seraient tombés d'accord avec nous sur les plus faibles décimales et auraient adopté, comme unité de mesure linéaire, la dix-millionième partie du rayon polaire terrestre, qui doit rester invariable pendant des milliers d'années !

Avouons que ce sont là d'étranges coïncidences !

Si nous passons maintenant aux données fournies sur le calendrier, nous obtiendrons des résultats d'une précision aussi déconcertante.

En divisant le côté de la Grande Pyramide par la coudée employée dans sa construction, on trouve la longueur de l'année sidérale, c'est-à-dire le temps que le Soleil met à revenir au même point du ciel, soit 365 jours, 2563. Quant à la durée de l'année civile employée dans notre calendrier et que les Grecs et les Romains n'avaient pu déterminer exactement, nous la retrouvons en multipliant par 3,1416 la longueur de l'antichambre précédant la chambre du roi, et évaluée en pouces pyramidaux, ce qui nous donne très exactement 365 jours, 242.

Si, maintenant, nous multiplions le pouce pyramidal par 100 milliards, nous obtiendrons la longueur

parcourue par la Terre sur son orbite, en un jour de 24 heures, et cela avec une approximation plus grande que ne pourraient le permettre nos unités actuelles, le yard ou le mètre français.

Que dire encore des mesures du coffre intérieur, qui se rapportent exactement à la densité du globe terrestre ? Ce coffre de la chambre du roi, merveilleusement taillé, et qui n'a jamais été destiné à une sépulture, offre la même capacité que celle de l'Arche d'alliance construite par les Hébreux. Il ne peut y avoir là une coïncidence fortuite ; les uns ont copié les autres pour des raisons qu'il reste à trouver.

Qu'on ne dise pas encore une fois que tout cela est dû au hasard, que les Egyptiens étaient ignorants des conquêtes de l'Astronomie, les faits seraient là pour indiquer le contraire.

C'est ainsi que le passage d'entrée de la Grande Pyramide regardait l'étoile polaire de l'époque ; il aurait donc été orienté en tenant compte de la précession des équinoxes, phénomène d'après lequel le pôle céleste revient coïncider avec les mêmes étoiles au bout de 25 796 ans.

Cette découverte faite autrefois, et confirmée dans les temps récents par des astronomes de première valeur tels que Sir John Herschel et Piazzi-Smith devrait être une indication précieuse pour fixer la date de la construction de l'édifice.

Ce procédé, qui a donné un résultat exact et d'accord avec les inscriptions pour le zodiaque de Dendérah, fournit cependant lorsqu'on l'applique à la Grande Pyramide une date beaucoup plus récente que ne l'indiquent les égyptologues. Au lieu de 4 000

ans avant l'ère chrétienne, la méthode en question indique l'année 2170 avant Jésus-Christ. La pyramide ne portant aucune date de construction, il est difficile de se décider pour l'une ou pour l'autre de ces deux époques.

Quoi qu'il en soit, les révélations que nous avons exposées sont d'autant plus remarquables que jusqu'ici les historiens sont unanimes dans l'affirmation des faits suivants :

Les anciens Egyptiens n'ont fait aucune allusion au rapport de la circonférence au diamètre ; on ne voit nulle part qu'ils aient eu une idée de la distance du Soleil à la Terre, de la mesure du globe terrestre, de son poids et de sa température moyenne, car on retrouve ce dernier chiffre dans la pyramide ; la coudée pyramidale ou sacrée n'était pas employée d'une façon courante ; personne d'ailleurs ne paraissait, à cette époque, se douter de l'origine de cette mesure qui est la dix-millionième partie exacte du rayon polaire terrestre.

Or, que toutes ces conquêtes de la science moderne soient dans la Grande Pyramide, à l'état de grandeurs naturelles, mesurées et toujours mesurables, ayant seulement besoin, pour se montrer au grand jour, de la signification métrique qu'elles portent avec elles, c'est évidemment inexplicable d'après nos données sur la civilisation antique, mais c'est un fait qu'on essayerait vainement de révoquer en doute et qui plonge les savants actuels dans la plus grande stupéfaction.

L'Énigme Solaire [1]

De tous les astres qui peuplent l'immensité et qui brillent au firmament, il n'en est pas un seul dont la connaissance approfondie nous importe davantage que celle du Soleil.

Simple étoile au milieu de ses innombrables sœurs, le Soleil est, comme elles, doué d'un mouvement propre dont la vitesse, d'après les évaluations récentes, atteint plus de 19 kilomètres par seconde.

Comme les étoiles, notre Soleil a traversé différentes phases, il a évolué depuis le moment où il brillait d'une lueur diffuse, semblable à ces milliers de nébuleuses que l'œil découvre au foyer de nos puissants télescopes. Les lois de la condensation, qu'étudie la Cosmogonie, l'ont amené peu à peu à l'état où nous le voyons aujourd'hui.

Dans des millions d'années, le temps toujours à l'œuvre lui fera franchir de nouvelles étapes, et l'acheminera lentement vers la mort ; le ciel est rempli de ces astres vieillis dont les pulsations vitales s'affaiblissent graduellement jusqu'au jour où ils rouleront froids et obscurs dans les espaces stellaires.

---

(1) Conférence faite à l'Assemblée générale de la Société scientifique de Bruxelles, le 7 avril 1910.

Si l'étude de notre propre globe nous renseigne sur l'évolution des planètes tournant comme la Terre autour du foyer de lumière et de chaleur qu'est notre Soleil, la connaissance de notre étoile nous fournira donc de précieuses indications sur la marche de l'évolution sidérale.

Telle est, en quelques mots, la justification de la place prépondérante qu'ont prise les études solaires depuis une quinzaine d'années.

Mais le Soleil nous intéresse à d'autres titres. Dans le microcosme dont nous faisons partie, dans ce système solaire dont l'astre du jour est le roi pour ainsi dire, les planètes sont non seulement soumises à son attraction, mais elles subissent toutes les vicissitudes de la grosse sphère centrale qui les régit.

Jusqu'à quel point sommes-nous tributaires de ses variations ; comment son état influe-t-il sur les phénomènes terrestres qu'enregistrent nos observatoires ? Tel est le point particulier que je vais essayer d'étudier avec vous aujourd'hui.

Le Soleil se présente à nos yeux sous la forme d'un disque lumineux ayant à peu près la même grandeur que celui de la Lune. En raison de l'orbite elliptique décrite par la Terre qui tantôt nous rapproche, tantôt nous éloigne du Soleil, le diamètre apparent de cet astre éprouve des variations dans le cours de l'année. Ce qu'il importe de savoir, c'est que sa valeur moyenne est de 32 minutes environ. La parallaxe équatoriale, c'est-à-dire l'angle sous lequel on verrait du centre du Soleil le demi-diamètre équatorial de la Terre, à sa distance moyenne, est

de 8'',80. Ce chiffre est la valeur adoptée par la *Conférence internationale des Etoiles fondamentales*, réunie à Paris en 1896 : il a été confirmé par les récentes mesures effectuées depuis 1900 à l'aide de la petite planète Eros et qui ont conduit au chiffre de 8'',806±0'',004.

Ces nombres ont servi à calculer la distance du Soleil ainsi que sa grosseur.

La valeur moyenne de la distance du Soleil à la Terre est de 149 400 000 kilomètres. Cette distance dépasse trop nos petites mesures usuelles pour être facilement compréhensible. Disons seulement que la lumière, à la vitesse de 300 000 kilomètres par seconde, met 490 secondes ou 8 minutes 10 secondes pour nous venir du Soleil.

Si les milieux planétaires étaient favorables à la propagation des ondes sonores, il ne faudrait pas moins de 14 années pour que le bruit d'une explosion solaire nous parvînt.

Un obus animé d'une vitesse uniforme de 1 000 mètres à la seconde mettrait 4 ans et 291 jours pour atteindre le Soleil. Un train marchant à 100 kilomètres à l'heure ne parviendrait là-bas qu'après un long voyage de 168 années !

Bornons là ces comparaisons, elles nous montrent que la distance du Soleil est énorme ; son volume ne l'est pas moins, il est plus de 1 300 000 fois celui de la Terre et son diamètre vaut 109,5 diamètres terrestres.

La Lune est à la distance moyenne de 384 500 kilomètres. Si donc nous placions la Terre au centre du Soleil, non seulement l'orbite de la Lune serait

tout entière comprise dans l'intérieur du Soleil, mais il nous faudrait parcourir un chemin presque aussi considérable que la distance de la Terre à notre satellite, soit 312 300 kilomètres, pour atteindre la surface de l'astre brillant.

Terminons ces quelques notions générales sur le Soleil par une indication de sa masse : elle est presque 333 000 fois plus considérable que celle de la Terre.

Cette masse se révèle par la puissance d'attraction du Soleil : à la distance de la Terre elle semble très faible, puisqu'elle ne réussit à faire dévier notre planète de sa course rectilinéaire que de 2,8 millimètres par seconde. Cependant, évaluée en tonnes, elle est exprimée par le nombre 36 suivi de 17 zéros :

3 600 000 000 000 000 000 tonnes

et, pour lui faire échec, il faudrait entourer la Terre d'un réseau de fils aussi résistants que les fils télégraphiques et séparés de 12,5 millimètres seulement.

Si nous regardons le Soleil à l'aide d'un verre noirci, son disque nous apparaît nettement découpé sur le fond sombre du ciel. Une modeste lunette nous donnerait déjà l'impression d'une grosse boule de feu, mais des instruments plus puissants nous montreraient que cette surface, unie en apparence comme un lac de lave incandescente, vue avec de forts grossissements, offre en réalité un aspect granulé, rappelant, à s'y méprendre, nos beaux ciels pommelés de certains jours d'automne.

Si vous étiez transportés dans la nacelle d'un ballon au-dessus des nuages que les météorologistes

appellent des cirrus, vous auriez exactement la sensation qu'éprouvent les astronomes contemplant la surface solaire du bout de leur lunette : de gros flocons d'ouate s'étalant sur un milieu sombre. Mais là s'arrête la comparaison, car si, dans notre atmosphère, nos cirrus sont formés de particules de glace et de vapeur d'eau, sur le Soleil les nuages sont des vapeurs de substances métalliques qu'une chaleur de six ou sept mille degrés a réduites à l'état de gaz.

C'est cette partie du Soleil qui rayonne la lumière et la chaleur ; au-dessous d'elle s'étend aussi une masse gazeuse, mais sombre et noire, malgré la température énorme qu'elle possède. Seule, l'enveloppe extérieure est brillante ; aussi lui a-t-on donné le nom de *photosphère*, c'est-à-dire sphère de lumière.

Le milieu dans lequel baignent tous ces nuages est surtout formé d'hydrogène ; il nous paraît sombre, quoique, en réalité, il soit deux mille fois plus éclairant que la pleine Lune.

La forme de ces nuages est très variable ; d'une façon générale on a pu comparer leur aspect à celui d'un plat de riz dont les grains n'auraient pas moins de 600 à 1 000 kilomètres de diamètre : c'était la forme que leur attribuaient Stone et Secchi. Nasmyth les comparait à des feuilles de saule et Langley à des flocons de neige sur un vêtement gris.

Ces « grains de riz » — le nom leur est resté — ou « nodules » se résolvent, sous des grossissements très puissants et avec une définition parfaite, en granules plus petits.

La forme des grains de riz est très irrégulière et très variable, et il serait oiseux de discuter longtemps cette question, car toutes les comparaisons semblent justes suivant les circonstances. Dans les meilleures conditions de définition, c'est-à-dire au début d'une observation, alors que l'air contenu dans le tube de la lunette n'a pas eu le temps de s'échauffer, j'ai constaté à la surface de la photosphère des granulations irrégulières aux formes les plus diverses et disposées parfois suivant des directions bien déterminées.

On peut obtenir de très belles photographies de cette granulation et mesurer les dimensions de ces nuages gigantesques. Hansky, à l'Observatoire de Poulkovo, en Russie, a trouvé des granules dont le diamètre atteint 2 000 kilomètres. Tous ces granules se meuvent à la surface du Soleil avec une très grande rapidité puisque quelques-uns se déplacent de 40 kilomètres par seconde.

Quand on examine ces photographies avec attention, on observe en certains endroits que les espaces séparant les granules sont plus vastes et plus noirs ; on dirait qu'il manque un ou plusieurs granules : ce sont des *pores*.

Si l'on observe encore le lendemain et les jours suivants, on est étonné des changements importants qui surviennent. Le pore, presque imperceptible au début, s'agrandit peu à peu, on dirait un trou béant s'ouvrant sur les profondeurs de la masse solaire. La surface sombre devient plus large : c'est une *tache* qui se prépare.

Les taches du Soleil ont été les premiers phéno-

mènes observés à la surface de cet astre : ce fut un objet d'étonnement pour les premiers astronomes. Généralement la surface noire est entourée d'une région plus ou moins régulière de teinte grisâtre et de structure très compliquée, la *pénombre*.

Une tache peut se former dans l'espace de quelques jours, parfois de quelques heures : la partie noire, centrale, est le *noyau* : elle ne nous paraît sombre que par comparaison, en réalité son pouvoir éclairant est 2 000 fois supérieur à celui de la pleine Lune. Des bords extérieurs de la pénombre partent des stries convergentes qui, sombres à leur début, c'est-à-dire près de la périphérie, deviennent dans la région centrale aussi brillantes que la surface photosphérique.

La pénombre manque quelquefois dans les taches très petites ou entre deux grandes taches rapprochées ou même entre les deux portions d'une même tache séparées par un pont lumineux.

La forme des taches varie beaucoup ; en fait, elles peuvent prendre toutes les configurations possibles, tantôt rondes ou ovales, tantôt si irrégulières qu'on ne peut les comparer à aucune figure géométrique. D'ailleurs elles varient perpétuellement de forme et de dimension.

On rencontre souvent des taches qui sont visibles à l'œil nu : les anciens observateurs, Herschel en particulier, avaient déjà signalé le fait.

L'histoire nous a également conservé le souvenir d'observations de taches, longtemps avant l'invention des lunettes. Ainsi, à la mort de César, Ovide

raconte que le Soleil parut obscurci pendant plusieurs jours :

... Phœbi tristis imago
Lurida sollicitis præbebat lumina terris.

En l'an 807, on croit voir passer Mercure devant le Soleil ; en 840, Vénus a le même honneur : or dans les deux cas ces planètes sont absolument invisibles à l'œil nu. En 1906, on aperçoit des « signes » sur le Soleil. Dans tous les cas les observateurs voyaient des taches. De même Kepler croit observer le passage de Mercure et ne voit réellement qu'une tache.

Les Chinois étaient plus avancés que nous sur ce sujet. L'ouvrage encyclopédique de Ma-Twa-Lin contient un tableau remarquable de 45 observations faites entre 301 et 1205, c'est-à-dire dans un intervalle de 904 ans.

Pour donner une idée de la grandeur relative des taches, les observateurs d'Etrême-Orient les comparent à un œuf, à une datte, à une prune, etc. Les observations se prolongent souvent pendant plusieurs jours consécutifs. On ne peut douter de la réalité et de l'exactitude de ces observations, et cependant elles ont été inutiles aux Européens puisqu'elles n'ont été publiées que dans la seconde moitié du XIXe siècle.

Pour qu'une tache soit visible à l'œil nu, il faut qu'elle ait au moins 50 secondes de diamètre, ce qui correspond à une longueur réelle de 36 000 kilomètres sur le Soleil. Les anciens astronomes ont signalé un assez grand nombre de taches remar-

quables par leurs grandes dimensions. Moi-même, depuis vingt ans, j'ai observé et dessiné un certain nombre de groupes qui ne le cédaient en rien à leurs devanciers.

Ainsi, en 1898, j'ai signalé un groupe de 160 000 kilomètres ; mais son importance était minime comparée à la tache de février 1905.

Cette grande tache dont on a beaucoup parlé à l'époque parut au bord oriental du Soleil dans les derniers jours de janvier. A mesure que la rotation du globe solaire, qui s'opère en 25 jours environ à l'équateur, amenait la tache en face de la Terre, on pouvait juger davantage des dimensions colossales de la formation. Dès son apparition des mesures micrométriques prises à l'équatorial de mon observatoire me permirent d'affirmer que nous étions en présence de la plus grande tache que les annales de l'Astronomie aient enregistrée. Elle était quatre fois plus grande qu'il ne le fallait pour être visible à l'œil nu. Le 2 février, elle avait une longueur de 180 000 kilomètres, soit, en prenant pour le 2 février un diamètre solaire égal à 32'31'',46, une grandeur angulaire de 252'' ou 4'12''.

En raison de sa grande largeur — 102 000 kilomètres — la surface tachée s'est élevée, le 2 février, au chiffre de 13 milliards de kilomètres carrés. La tache occupait en longueur le huitième du diamètre solaire.

La plus grande tache mesurée a été observée en 1858, sa plus grande dimension était de 230 000 kilomètres, mais la surface ne couvrait que 1/36 du

disque solaire, tandis que celle de février 1905 occupait environ 1/29 de la même surface.

Cette tache colossale est passée au méridien central du Soleil le 4 février au matin ; ceux qui l'ont observée ce jour-là ont dû remarquer qu'elle se projetait non loin du centre apparent du disque, sa latitude héliographique étant —14° et le centre ayant ce jour-là une latitude de +6° environ.

Une formation aussi considérable se voit bien rarement, mais j'ai souvent mesuré des taches beaucoup plus grandes que la Terre.

La durée des taches est aussi variable que leurs dimensions. Nous avons vu quelquefois des taches disparaître en quelques jours et d'autres persister pendant trois ou quatre rotations solaires, c'est-à-dire 75 jours et plus. On cite l'exemple d'une tache qui revint jusqu'à huit fois et qui persista plus de 200 jours. D'aussi longues durées sont assez rares et on ne saurait être trop sceptique à ce sujet. L'observation nous a démontré que les mêmes régions peuvent rester tachées pendant longtemps et être le centre d'une perturbation très persistante sans qu'on soit autorisé le moins du monde à croire que les mêmes taches subsistent indéfiniment. Nous ne pouvons suivre les taches pendant leur disparition dans l'hémisphère opposé, et bien souvent nous devons prendre pour un même objet une nouvelle formation située dans la même région solaire. A certaines époques cependant où les taches sont moins nombreuses, il y a beaucoup de chances pour que les formations régulières subsistent pendant plusieurs rotations.



La plus grande tache solaire qu'on ait observée
depuis l'invention des lunettes.
(Dessin de l'Abbé Moreux, pris le 2 février 1905)
En haut à gauche, la Terre à la même échelle



La Couronne Solaire
pendant l'éclipse du mois de mai 1900, visible en Espagne.

Presque tous les jours, nous pouvons enregistrer, par l'observation visuelle ou la photographie, ces *accidents* de l'atmosphère solaire, c'est-à-dire des phénomènes changeants et de faible durée, en général.

A côté des taches sombres apparaissent très souvent des masses contournées, brillantes, appelées *facules*, on les observe surtout à l'avant et à l'arrière des grandes taches, et leur existence semble jusqu'à un certain point liée à celle des taches. Nous disons jusqu'à un certain point, car on en trouve quelques-unes dans des régions dépourvues de taches, mais en général elles sont moins brillantes.

Les taches ne se forment pas à toutes les latitudes. Dès l'origine des observations on reconnut qu'elles affectaient surtout les régions équatoriales, dans une zone d'environ 70° (35° de part et d'autre de l'équateur) appelée par les anciens astronomes *zone royale*. Quelques taches ont dépassé cette limite et La Hire en a observé une à 70° de latitude nord, mais ce fait, comme le dit Humboldt, « peut être mis au rang des plus grandes raretés ». On en voit aussi très peu à l'équateur solaire ; elles affectent de préférence les régions comprises entre 10° et 35° de latitude héliocentrique boréale ou australe avec un maximum vers 17°.

Leur distribution dans le temps est aussi soumise à des lois très curieuses que nous allons énoncer brièvement.

Si l'on prend soin de noter pendant un grand nombre d'années la surface solaire tachée et si l'on construit une courbe à l'aide des chiffres obtenus, on

voit immédiatement que le nombre des taches passe par un maximum tous les onze ans avec des minima éloignés d'une même valeur.

Cette courbe est loin d'être régulière et l'on constate des soubresauts bien marqués dans l'activité solaire.

Quant à la courbe moyenne, elle offre une allure très caractéristique.

Du minimum au maximum suivant, il y a quatre années et demie environ, puis la courbe descend lentement pendant six années. L'activité solaire monte donc brusquement pour s'éteindre peu à peu.

Le maximum des taches paraît influer sur leur latitude. On a remarqué depuis longtemps qu'aux années de maximum, les taches s'étendent sur une zone plus large, tandis qu'elles se resserrent vers la région équatoriale aux années de minimum.

L'activité du Soleil ne s'arrête pas à la couche photosphérique et ne se manifeste pas seulement par une recrudescence des taches et des facules.

Au-dessus de la photosphère s'étale une couche rosée formée de vapeurs métalliques à haute température et dans lesquelles domine l'hydrogène. Cette couche est peu épaisse et ne dépasse guère 15 000 kilomètres en hauteur ; on la voit, à l'œil nu, pendant les éclipses totales, mais depuis une quarantaine d'années, les astronomes ont trouvé le moyen de l'étudier chaque jour à l'aide de son spectre.

C'est alors que l'observation régulière de cette enveloppe qui a nom *chromosphère*, c'est-à-dire sphère de couleur, nous a révélé toute une série de phénomènes aussi intéressants que ceux de la photosphère.

A l'état normal cette couche rosée ressemble à un immense champ de blé dont les épis seraient courbés sous la force de vents violents. Des filets écarlates figurent les tiges, mais ce n'est qu'une comparaison, car, en réalité, ces filets lumineux possèdent les dimensions du diamètre terrestre. Tout à coup, de cette région rose, s'élancent des flammes gigantesques, atteignant des hauteurs extraordinaires : ce sont les protubérances solaires. Elles affectent les formes les plus diverses : tantôt les panaches se recourbent comme la fumée s'échappant de nos grandes cheminées d'usine, tantôt, au contraire, ces flammes s'élancent droites, semblables à des jets de vapeur. En quelques minutes certaines protubérances atteignent des milliers de kilomètres de hauteur. On en a vu une qui, en un quart d'heure, était montée de 260 000 à 420 000 kilomètres !

Ces manifestations constituent un admirable spectacle, toujours changeant et toujours nouveau. Heureusement que, là encore, la photographie vient à notre secours pour fixer ces apparences fugitives et sans cesse renouvelées.

Certains astronomes les décrivent comme des éruptions gigantesques, et l'assimilation ne manque ni de grandeur, ni de charme, ni de poésie.

J'inclinerais plutôt à croire que nous sommes en présence d'orages formidables en action sur le Soleil.

Quoi qu'il en soit des théories que nous ne saurions aborder ici, nous pouvons affirmer que les protubérances sont certainement accompagnées de phénomènes électriques dont nos minuscules orages ter-

restres, malgré leur violence, ne peuvent nous donner la moindre idée.

On a vu des protébérances dont la hauteur dépassait 450 000 à 500 000 kilomètres — 35 à 40 fois le diamètre terrestre. La pellicule atmosphérique dans laquelle nous vivons ne ferait pas « long feu » au sein d'une telle fournaise, et, en quelques secondes, toute l'eau de la Terre, toutes ses forêts, tous ses habitants, nos villes, nos moissons, nos jardins, tout cela serait absorbé, rôti, brûlé, réduit à l'état de gaz impalpable.

La Terre elle-même, au contact de ce formidable brasier, subirait le même sort sans que la chaleur du Soleil fût sensiblement augmentée par cette infime combustion.

Comme les taches, les protubérances solaires ont des recrudescences et, fait digne d'être noté, la loi de périodicité est la même pour les deux phénomènes. Mais, alors que l'état de la photosphère agit directement sur l'émission calorifique et modifie nos températures, la chromosphère, par l'intermédiaire de ses manifestations électriques, semble une source d'électricité toujours en action pour modifier l'atmosphère terrestre.

Aux époques des grandes protubérances, notre aiguille aimantée, qui se dirige constamment vers le nord, nous renseigne sur les émissions d'ondes électriques émanées du Soleil : c'est notre récepteur, aussi sensible que les tubes à limaille de nos appareils de télégraphie sans fil.

Les déviations anormales de la boussole sont connues depuis longtemps ; mais il a fallu toute la

précision de nos instruments enregistreurs pour mettre en évidence, dans ce domaine particulier de la physique, la part qui revient au Soleil dans ces manifestations mystérieuses.

Les fluctuations du magnétisme solaire se traduisent toujours par les agitations de nos aiguilles aimantées qui, au passage des grandes taches et à l'apparition des fortes protubérances polaires, deviennent véritablement affolées.

En même temps, l'état électrique de notre atmosphère se modifie, des aurores boréales ou australes s'allument soudain et illuminent les pôles terrestres. Des courants intenses sillonnent nos lignes télégraphiques et interrompent parfois les communications. Nos réseaux téléphoniques, plus sensibles, ne nous sont plus d'aucune utilité lors de ces crises solaires. On pourrait multiplier les exemples de ces faits, qui déconcertent les télégraphistes toutes les fois qu'ils se produisent.

Le 1er septembre 1859, Carrington, bien connu par ses travaux sur le Soleil, notait une coïncidence entre le passage d'une tache ou ses transformations et les perturbations magnétiques.

Ce jour-là le globe entier fut atteint, les dépêches télégraphiques furent partout suspendues. A Washington et à Philadelphie, des employés reçurent même de violentes commotions et plusieurs appareils prirent feu. Des aurores boréales furent notées et des aurores australes eurent lieu dans les régions voisines du pôle sud.

Le 4 février 1872, autres perturbations magnétiques, aurores boréales, arrêt des transmissions té-

légraphiques, présence de nombreuses taches sur le Soleil, apparition de protubérances et d'éruptions de toutes sortes.

Le 3 août suivant, la même série de phénomènes se renouvelait avec une égale intensité.

Le 17 novembre 1882, une énorme tache, visible à l'œil nu, coïncidait avec une forte perturbation magnétique, l'aiguille fit des sauts brusques de un degré. Des aurores furent signalées aux deux pôles et les télégraphes s'arrêtèrent dans le monde entier.

Le 9 janvier 1886, mêmes résultats.

Enfin, plus près de nous, il faut signaler la grande tache de février 1894, qui a coïncidé avec de magnifiques aurores boréales ; celle du 9 septembre 1898 : déviation magnétique intense, aurores observées en France, jusque dans l'Aveyron, puis en Finlande.

En 1903, grâce à l'examen du Soleil, j'ai pu prévoir une de ces perturbations télégraphiques et avertir le personnel de la poste à Bourges. Il en a été de même lors de la perturbation du 31 octobre de la même année qui arrêta les communications dans le monde entier, pendant plus de huit heures.

En Amérique, on constata sur les lignes télégraphiques la présence de courants assez forts pour amener des accidents ; ces courants connus en physique sous le nom de *courants telluriques*, c'est-à-dire d'origine terrestre, ne sont donc en réalité que des courants se développant sous l'influence de l'activité solaire.

Mais l'un des plus grands orages magnétiques qu'on ait encore éprouvés est bien celui qui, le 25 septembre 1909, le jour même où notre beau dirigeable

République sombrait dans une terrible catastrophe, sévissait à la surface du Soleil et avait son retentissement sur notre globe et probablement sur toutes les planètes et les comètes de notre système.

Une tache énorme était apparue sur le Soleil quelques jours auparavant. Son diamètre mesurait quatre fois celui de la Terre, soit 56 000 kilomètres en nombre rond. Sa superficie égalait près de deux milliards de kilomètres carrés. Pour n'être pas aussi grande que bien d'autres formations, cette tache était plus intéressante peut-être.

Elle formait un immense tourbillon au sein de la photosphère. Or, nous savons, à n'en pas douter maintenant, que les taches sont amenées par des différences de température sur le Soleil, qu'elles sont le siège de formidables orages électriques.

« Vous voyez d'ici, écrivais-je le lendemain de l'événement, vous voyez d'ici cette tempête effrayante où l'électricité règne en maîtresse, ce cyclone capable d'engloutir huit terres comme la nôtre, cet ouragan formidable couvrant une superficie de deux milliards de kilomètres carrés, toute la région environnante du Soleil secouée par une marée formidable dont les vagues s'élèvent parfois à 200 000 kilomètres de hauteur ! Et tout ceci pourrait se passer sans que la Terre n'en reçoive aucun contrecoup ? Nos ondes électriques influencent nos récepteurs à de grandes distances, et nous voudrions que de pareils dégagements d'électricité ne viennent pas envelopper de ses effluves notre pauvre petit globe, simple grain de sable en comparaison du Soleil ! Ce

serait avoir la vue myope et courte des vieux astronomes ! »

Le même jour une magnifique aurore boréale offrait un merveilleux spectacle jusque dans le Midi de la France. On aurait pu se croire transporté dans les régions polaires. Au-dessus de l'arc auroral changeant, émettant de grands rayons jusqu'à l'étoile polaire, une immense draperie du plus beau violet pâle s'est développée pendant une dizaine de minutes ; c'était un dégagement d'électricité dans la haute atmosphère, près des pôles terrestres.

La boussole était affolée, les courants électriques, dits telluriques, sillonnaient nos lignes télégraphiques interrompant toute communication aussi bien en France qu'à l'étranger. Ce ne fut qu'à la fin de l'aurore, vers 9 heures du soir, que les lignes reprirent peu à peu leur état normal.

On chercherait en vain l'explication de ces faits dans des phénomènes terrestres. On regarde en bas, alors qu'il faudrait voir en haut. Le vrai coupable évidemment, c'est le Soleil.

Ce langage peut sembler étrange de prime abord.

— Point n'est besoin, dira-t-on, d'une crise solaire pour expliquer les mauvais fonctionnements des téléphones. Il ne dépend que trop souvent de l'humeur variable des employés.

— D'accord, mais est-on bien certain que cette humeur variable ne dépend pas elle-même du Soleil ?

Est-ce que l'état électrique de l'atmosphère terrestre — lié au Soleil, nous l'avons vu — n'influe pas sur notre caractère, sur nos dispositions, sur

notre humeur, sur nos réunions parlementaires, sur le vote de nos lois — qui sait encore ! — sur la tension des relations diplomatiques entre les Etats, en un mot, sur une foule de phénomènes que nous ne soupçonnons même pas ?

N'ai-je point constaté maintes et maintes fois que le Soleil agit sur les crises rhumatismales, les névralgies, etc., etc. ?

Malheureusement là ne s'arrêtent pas les méfaits du Soleil.

C'est un fait connu depuis de longues années qu'au moment des grands tremblements de terre, on constate habituellement la naissance de courants telluriques. Pendant longtemps on crut que ces derniers provenaient précisément des troubles engendrés par les secousses. Mais n'y aurait-il pas lieu de supposer l'inverse ? Ne serait-ce pas le courant tellurique qui amènerait le tremblement de terre ? Tel est le problème que je m'étais posé dès 1900 et que des faits nombreux m'ont amené à résoudre dans ce dernier sens.

Mon attention fut d'abord attirée sur la coïncidence des troubles solaires avec les dégagements instantanés de grisou. La plupart du temps ces dégagements ont lieu aux périodes de violents tremblements de terre qui coïncident eux-mêmes avec l'apparition des courants telluriques.

Or, il semble bien que les jours à coups de grisou soient souvent faciles à prévoir. Il y a quelques années j'en ai tenté l'essai en envoyant quelques jours à l'avance des télégrammes à la Société belge de Géologie. Les résultats que j'ai publiés à cette

époque ont été des plus satisfaisants. En prévoyant, par l'examen du Soleil, les troubles de l'atmosphère solaire, j'indiquais les perturbations magnétiques terrestres liées aux dégagements grisouteux et aux courants telluriques.

Il n'est donc pas téméraire d'avancer que le Soleil est le grand coupable. Malheureusement, nous sommes si peu outillés, en France surtout, pour étudier le Soleil d'après ces nouvelles méthodes, que la question avance lentement.

Lorsqu'une tache arrive au milieu du disque solaire, elle ne donne pas nécessairement naissance à une perturbation magnétique ni à un courant tellurique. Certaines taches sont actives, d'autres ne le sont pas. J'ai montré aussi il y a quelques années dans différentes revues que l'activité solaire n'est pas nécessairement liée aux taches, mais à d'autres phénomènes plus ou moins tangibles : protubérances, troubles dans l'atmosphère supérieure du Soleil, etc.

Il faut tout étudier pour trouver parfois une relation avec nos phénomènes terrestres.

Il est donc enfantin de vouloir lier l'apparition d'un tremblement de terre à une tache solaire comme relation de cause à effet. Je ne pense pas que nous puissions prévoir à un jour près de semblables phénomènes. Le Soleil dans sa rotation sur lui-même amène en face de la Terre des régions d'activité électrique incontestable ; nous le constatons souvent, mais nous nous trompons quelquefois sur leur réalité et leur signalement.

J'ai donc cherché s'il y avait une relation entre les grandes périodes d'activité solaire et les périodes

à tremblement de terre et à éruptions. Cette relation pour la volcanicité n'est pas douteuse.

Si l'on réunit sur un même diagramme la courbe de l'activité depuis qu'on étudie régulièrement le Soleil, c'est-à-dire depuis 1620, la courbe des variations de la boussole, et celle de fréquence des éruptions volcaniques, l'on constate :

1° Qu'il y a une relation exacte entre la courbe de l'activité solaire et les déviations de l'aiguille aimantée ;

2° Que, tandis qu'il y a coïncidence entre ces deux courbes, le phénomène des éruptions présente une allure opposée.

Du moment où le Soleil atteint sa plus grande activité, les éruptions sont en décroissance et inversement.

Depuis 1610, le phénomène est général, les éruptions volcaniques coïncident avec les minima des taches solaires, c'est-à-dire que l'activité du volcanisme s'accroît à mesure que l'activité solaire diminue, et d'autant plus vite que celle-ci diminue brusquement.

Quant aux tremblements de terre, leur fréquence ne se prête guère à la construction d'une courbe. Leurs effets destructeurs ne sont pas en rapport avec les secousses ; ils dépendent souvent des régions éprouvées.

Là encore cependant il semble qu'il y ait une loi manifeste.

Ils arrivent surtout aux moments où l'activité solaire change de sens, soit qu'elle augmente, soit qu'elle diminue, d'une façon générale. Je ne puis

ici entrer dans des détails trop techniques, mais ce que je puis dire, c'est que notre courbe de l'activité solaire, telle que nous la construisons, n'est qu'une courbe moyenne ; la courbe réelle est beaucoup plus mouvementée. Elle procède par à-coups successifs. Après l'époque du maximum des taches, par exemple, les soubresauts sont bien accentués ; puis il y a un repos marqué trois années après ce maximum ; enfin, la courbe descend progressivement jusqu'au minimum suivant.

D'après ma théorie, c'est à la fin de la troisième année du cycle solaire et pendant l'année suivante que les tremblements de terre doivent présenter leur maximum de fréquence et d'intensité ; or c'est pratiquement ce qui existe.

Mais il faut bien s'entendre et être précis : dans cet ordre d'idées on ne peut prévoir qu'à condition de suivre pas à pas et par un examen direct l'état même du Soleil.

C'est cette loi et cet examen qui m'ont permis de prédire le grand tremblement de terre de San Francisco par l'organe du *New-York Herald*, ainsi que les derniers séismes depuis la fin de 1908 dans un article de l'*Echo de Paris* et enfin dans un article du 16 décembre de l'*Illustration*. C'est encore cette loi générale qui m'a porté à avertir, pendant l'avant-dernier hiver, les Provençaux et tous ceux qui habitent la Côte d'Azur d'avoir à se tenir sur leurs gardes pendant cette période critique.

Les manifestations sismiques, disais-je alors, vont diminuer peu à peu pour laisser place aux éruptions

volcaniques qui se grouperont autour de l'année 1912.

Il nous reste maintenant à expliquer la façon dont le Soleil agit sur l'écorce terrestre et à dire quels rapports il peut y avoir entre ces phénomènes et la vie de notre astre central.

Le problème revient à imaginer une cause périodique qui tantôt retiendrait l'écorce terrestre au-dessus du noyau gazeux ou liquide, tantôt, au contraire, la laisserait s'appuyer sur lui. Toute dilatation de la croûte tendrait à diminuer la pression sur le noyau interne ; tout retrait de l'écorce produirait l'effet opposé : les vapeurs dissoutes dans le magma sous-jacent auraient alors tendance à s'échapper, entraînant les laves rendues liquides par une moindre pression aux endroits de grandes fractures, d'où mouvements orogéniques et tendance à la volcanicité. C'est ainsi que les choses se passeraient si nous dilations les pierres de la voûte d'un pont : la dilatation rendrait l'édifice plus solide ; le retrait, au contraire, produirait un tassement et un mouvement de descente.

La chaleur solaire variable ne peut rien expliquer, car nous savons qu'à partir de 16 mètres au-dessous du sol la température est d'une constance remarquable.

Nous pourrions être plus heureux en nous adressant à l'électricité.

Les statistiques montrent que les tremblements de terre sont plus nombreux en hiver qu'en été. De même, on enregistre plus de secousses la nuit que le jour et le matin que le soir.

Or, de tous les phénomènes qui concordent le mieux avec la distribution périodique des séismes, j'ai montré ailleurs que l'électricité atmosphérique tenait le premier rang.

L'électricité servirait donc d'intermédiaire entre le Soleil et les troubles sismiques, ou, ce qui revient au même, entre le Soleil et les contractions de la Terre.

Aussi paradoxale que puisse paraître cette affirmation, nous allons montrer qu'elle peut scientifiquement se soutenir. Tout le monde connaît une bouteille de Leyde, mais on ignore généralement que, si l'on fait varier la charge de la bouteille, son volume varie proportionnellement. En chargeant l'armature extérieure représentée par une feuille d'étain, le volume augmente ; l'inverse se produit si l'on diminue la charge.

Or, sur la Terre, l'atmosphère joue le rôle de la feuille d'étain extérieure, la croûte terrestre remplace le verre de la bouteille, et l'armature intérieure est fort bien représentée par le noyau liquide ou gazeux surtout, formé de substances métalliques.

Si donc la charge électrique venue du Soleil augmente dans l'atmosphère, nous aurons dans la croûte une tendance à la dilatation, les pressions latérales seront plus accusées et toute la croûte tendra à se maintenir d'elle-même au lieu de s'appuyer sur le noyau central. D'où suppression des tremblements de terre.

C'est précisément ce que nous constatons. Les tremblements de terre sont faibles ou n'existent pas en été et dans les après-midi, moments de grande charge électrique.

Inversement losque l'électricité diminue, pendant l'hiver ou même dans la seconde partie des nuits il y a tendance à la contraction de la part de l'écorce, rien ne retient plus cette couche pesante au-dessus du noyau, d'où phénomènes de tassement et de descente, et, par conséquent, tremblements de terre.

Cette variation de l'électricité et des tremblements de terre, nous la retrouvons dans la courbe annuelle ainsi que dans les courbes générales à longue période.

On comprend donc qu'à certaines époques les gaz enfermés dans la croûte cherchent à sortir en vertu de la pression de l'écorce favorisée par une tendance à la contraction. Leur tension augmentera jusqu'au moment où l'activité solaire passera par un minimum. Ainsi s'expliqueraient les relations que j'ai constatées pour la première fois il y a une dizaine d'années.

Quel que soit le sort de la théorie que je préconise, les faits sont là : ce sont eux qui fournissent le plus sûr bilan de notre science, et nos hypothèses souvent changeantes ne sont pour ainsi dire qu'un aide-mémoire dont nous pouvons nous servir à la condition toutefois de n'en jamais méconnaître la nature.

Mais notre étude du Soleil n'est pas terminée. Nous avons porté notre attention sur la photosphère et la chromosphère, il nous faut encore dire quelques mots de la troisième enveloppe du Soleil, la *couronne*, visible seulement pendant les éclipses totales, où elle semble comme une sorte d'auréole lumineuse analogue à celle dont les artistes nimbent la tête des saints.

Pendant longtemps les astronomes avaient attribué les formes coronales à une illusion d'optique, tout au moins à une illumination produite dans notre atmosphère, puis on crut qu'elle indiquait la présence d'une atmosphère lunaire. L'opinion sur ce sujet a subi de nombreuses variations, mais finalement, à la suite des travaux spectroscopiques, on a reconnu que la couronne appartient réellement au Soleil.

La couronne est sans doute composée de matériaux tellement raréfiés que leur illumination ne suffit pas dans les circonstances ordinaires à vaincre celle de l'atmosphère terrestre. Cette dernière cesse-t-elle au contraire d'être éclairée, comme il arrive au moment des éclipses totales, alors que le globe de la Lune s'interpose entre le Soleil et notre œil, immédiatement nous voyons surgir autour du disque obscur des banderoles plus ou moins prononcées se détachant sur un fond brillant.

L'étude systématique de la couronne ne remonte pas très loin, mais dès que l'on eut remarqué la variabilité de sa forme en fonction de l'activité solaire, le problème devint intéressant et on commença de s'en occuper sérieusement.

Chose curieuse, on reconnut bientôt que les formes coronales variaient avec le cycle des taches ; pendant les années de maximum de taches, la couronne solaire se présente sous une forme absolument symétrique avec une égalité de lumière parfaite. Au contraire, dès que l'activité commence à décroître, il se produit une diminution de lumière aux pôles, et cette diminution va s'accentuant à mesure que l'on approche

de l'époque du minimum. C'est ce qu'on a appelé la fente polaire.

On est donc autorisé maintenant à classer les couronnes en trois types principaux, suivant la position de leurs rayons. Cette classification satisfait assez bien aux différentes formes constatées.

Le premier est le type polaire.

Les rayons coronaux envahissent les pôles du Soleil et sont distribués irrégulièrement à toutes les latitudes. Ce sont les couronnes de ce genre qui présentent le moins de ressemblance entre elles, au moins dans les détails variés à l'infini ; mais, en général, les extensions équatoriales ne sont pas nettes ; les filaments déliés qui forment ce qu'on appelle les aigrettes de la couronne sont tournés dans tous les sens. On a même vu dans ce type coronal des aiguilles qui prennent naissance dans une latitude voisine de 45°, sont recourbées vers les pôles, franchissent ces derniers pour aboutir sur le côté opposé.

Les couronnes polaires ont été visibles pendant les éclipses de 1860, 1870, 1871, 1882, 1883, 1893, 1905, c'est-à-dire toujours aux époques de maximum de taches ou voisines d'un maximum.

Le troisième type complètement opposé au premier, est le type équatorial.

Cette fois les extensions coronales semblent partir de l'équateur. A l'œil nu les pôles du Soleil sont simplement auréolés d'une lumière diffuse argentée. La structure filamenteuse est cependant bien visible avec une simple jumelle, comme lors de l'éclipse totale de 1900 que j'ai pu étudier en Espagne. Dès

qu'on applique un grossissement de quelques diamètres, les pôles du Soleil apparaissent chevelus ; c'est la meilleure expression pour rendre l'apparence du phénomène. Ce sont des rayons qui, d'abord normaux à la circonférence du disque, se recourbent à peu de distance et semblent s'unir un peu plus loin à la chevelure s'échappant des régions équatoriales. Aux pôles exactement, les rayons filamenteux ne sont pas incurvés et leur direction indique assez bien l'axe du Soleil.

Les extensions équatoriales sont parfois très allongées. En mai 1900, j'ai pu suivre à l'œil nu les filaments de la couronne jusqu'à la planète Mercure, alors très brillante dans le ciel ; Mercure se trouvait à une distance du Soleil égale à sept fois et demie environ le rayon solaire. En 1878, les filaments avaient une extension égale à 11 diamètres solaires. En raison de leur direction radiale, les extensions équatoriales dans ce type de couronne ont fait comparer la couronne équatoriale aux ailes d'un moulin à vent, et c'est avec raison qu'on la décrit ainsi.

A ce groupe appartiennent les couronnes de 1867, 1868, 1878, 1889, 1900 et 1901.

Comme le prochain minimum doit tomber vers l'année 1912, nous pouvons prédire que l'éclipse totale visible (?) en France aura cette forme : la fente polaire sera considérable et les rayons équatoriaux seront très allongés.

Entre ces deux groupes extrêmes, type polaire et type équatorial, vient se placer le type intermédiaire.

Les rayons coronaux sont à mi-chemin entre le

pôle et l'équateur, et la forme générale du Soleil affecte celle d'une croix de Saint-André.

Les caractéristiques du type intermédiaire sont donc les suivantes : quatre groupes de filaments inclinés de 45° sur l'équateur avec aigrettes dont la concavité est toujours tournée vers une droite radiale à 45°. J'insiste sur ce dernier fait très important dès qu'il s'agit d'une théorie ayant la prétention de rendre compte des formes coronales. De plus, les extensions ne sont pas aussi étendues que dans le troisième type. Parfois même elles sont si restreintes que leur enveloppe ou leur surface limite dessine assez bien l'aspect d'un carré ; de là le nom de couronne carrée ou quadrangulaire donné à ce type par quelques auteurs.

A cette forme se rattachent les couronnes des éclipses de 1858, 1860, 1871, 1875, 1886, 1887, 1896 et 1898.

Le type intermédiaire se trouvant tantôt plus près, tantôt plus éloigné d'un maximum de taches, doit nécessairement varier un peu ; aussi a-t-on constaté maintes fois qu'il se rapproche plus ou moins des types extrêmes suivant les époques.

Ce fait explique qu'on n'a pu classer les couronnes de 1865 et de 1883, toutes les deux s'étant présentées entre un type polaire ou équatorial et un type intermédiaire. Il est bien évident que le changement d'un type à l'autre se fait en réalité sans à-coup et non brusquement. Si nous pouvions voir et étudier la couronne comme on le fait pour les protubérances, c'est-à-dire journellement, notre classification ne serait sans doute pas aussi simple. Cependant, celle

que nous avons adoptée avec beaucoup d'auteurs renferme les types principaux autour desquels se groupent tous les autres.

Tous ces phénomènes, malheureusement, ne peuvent être observés que pendant les éclipses totales, c'est-à-dire pendant quelques minutes seulement chaque année, deux ou trois tout au plus. C'est peu vraiment pour faire avancer notre connaissance du Soleil. Si nous pouvions trouver le moyen de les étudier en dehors des éclipses, nous aurions probablement la clé des mystères et des lois qui régissent l'activité solaire.

J'ai montré autrefois comment on pourrait tenter une explication rationnelle des faits constatés en attribuant à la condensation des effets variables suivant le milieu observé.

Commencée dans la couronne, cette condensation affecterait périodiquement les enveloppes sous-jacentes et déterminerait en même temps que le phénomène des taches un surcroît de chaleur dans la région photosphérique.

Or, à l'époque où j'étudiais ces théories dans le *Problème solaire*, nous avions déjà de bonnes raisons de croire à une variation calorifique des enveloppes.

Aujourd'hui le fait n'est plus douteux et son importance vaut la peine que nous nous y arrêtions.

Lorsqu'on reçoit sur un prisme un faisceau de lumière solaire, on constate une décomposition de la lumière blanche qui donne lieu à l'apparition, sur un écran approprié, des sept couleurs de l'arc-en-ciel.

En intercalant une fente à faible ouverture entre

le prisme et la source lumineuse, des raies sombres apparaissent, et la physique démontre que ces raies sont les caractéristiques des substances en combustion dans le Soleil. Chaque corps possède ses raies propres et on conçoit quel merveilleux parti les chimistes ont pu tirer d'un procédé dont la sensibilité est telle qu'on peut analyser la moindre parcelle des corps brûlant dans une flamme placée à une distance quelconque.

Or, l'étude prolongée du spectre solaire a montré que le nombre des raies ainsi visibles avec un même instrument varie considérablement au cours d'un cycle solaire.

A l'époque du minimum le nombre des raies visibles est relativement peu considérable et presque toutes peuvent être identifiées, c'est-à-dire rapportées à des corps connus et étudiés sur la Terre. Mais à mesure qu'on approche du maximum, de nouvelles bandes apparaissent qui pour la plupart peuvent se résoudre en lignes extrêmement fines avec une dispersion suffisante. C'est ce qu'on appelle les lignes renforcées : elles sont à peu près toutes d'origine inconnue.

On a pu cependant, par des expériences de laboratoire, déterminer sous quelle influence elles prennent naissance.

On peut diviser nos hautes températures terrestres en trois catégories : la température de la flamme, celle de l'arc électrique et la température de l'étincelle électrique à très haute tension. A la température inférieure, celle de la flamme, on obtient une certaine séries de lignes ; à mesure qu'on passe de

la flamme à l'arc électrique, puis à l'étincelle, le nombre des lignes nouvelles augmente dans une proportion énorme, tandis que certaines lignes préexistantes diminuent d'intensité.

Or, à l'époque du minimum, on observe dans le spectre des taches les lignes de l'arc, tandis qu'au maximum, ce sont les lignes de l'étincelle qui prédominent. Conclusion : les lignes renforcées observées pendant les périodes de maximum sont l'indice que le Soleil est alors plus chaud qu'en temps normal ; autrement dit, les substances solaires observées au spectroscope sont soumises à une température beaucoup plus élevée.

Notre Soleil est donc une étoile variable dont la période est de 11 ans environ, et par conséquent la chaleur que nous en recevons varie également : tantôt cette chaleur augmente, tantôt elle diminue.

Il y a donc lieu de se demander si cette source calorifique, dans ses variations, n'a pas sa répercussion sur les températures que nous subissons sur la Terre et aussi sur tous les éléments de la météorologie terrestre.

En fait, si l'on dresse la courbe des températures terrestres, on peut observer que, la plupart du temps, les périodes de grande activité solaire coïncident avec des hausses thermométriques dans un grand nombre de régions.

Je sais bien que le phénomène peut être masqué par des froids résultant de l'évaporation, mais rien n'est perdu dans la nature et l'énergie solaire sera toujours employée à quelque travail profitable. S'il y a évaporation plus abondante, l'humidité de l'atmo-

sphère s'accroîtra dans les mêmes proportions et les précipitations aqueuses se feront plus intenses et plus fréquentes. La courbe pluviométrique doit donc nous renseigner sur ce point. Ainsi, de proche en proche, nous arrivons à inférer de l'étude des phénomènes solaires une recrudescence périodique des pluies, or c'est précisément ce que l'expérience a confirmé.

En 1874, M. Norman Lockyer, depuis Sir Norman, découvre un cycle de pluie correspondant à la période undécennale des taches. C'était d'ailleurs un fait connu depuis longtemps à Ceylan qu'il existait, dans l'intensité de la mousson, un cycle d'environ 11 années. Dans un voyage aux Indes, M. Lockyer constate que la période comprend 5 à 6 années de sécheresse alternant avec 5 à 6 années d'humidité. On reconnaissait encore dans la région une plus longue période d'environ 33 ans.

Peu après M. Meldrum arrive à des conclusions analogues par l'étude des pluies à Port-Louis, Brisbane et Adélaïde.

Remarquons, en passant, que, l'Inde se trouvant sous les tropiques, le climat y est extrêmement régulier. Cependant même dans des régions à latitude élevée on retrouve la même coïncidence.

Ainsi, en 1878, le Dr Meldrum trouve qu'il y a une coïncidence remarquable entre la variation de la pluie et des taches à Edimbourg. Les années de maximum et de minimum de pluie et de taches, pour les cycles moyens, coïncident, et il y a une gradation régulière du minimum au maximum et du maximum au minimum voisin. Le minimum de pluie ar-

tive en moyenne dans l'année qui précède immédiatement l'année de maximum des taches.

Veut-on d'autres exemples : la quantité de pluie est en déficit quand les taches sont au minimum et en excès quand les taches sont au maximum dans 54 stations en Grande-Bretagne (de 1824 à 1867) et dans 34 stations en Amérique.

L'influence du Soleil ne s'arrête pas là : en 1880, Chamber conclut de recherches très sérieuses qu'il y a une relation entre les variations des taches, la pression barométrique, la pluie et les famines dans l'Inde occidentale.

Dans les régions tropicales où le climat est très régulier, les fluctuations solaires s'y font sentir dans les moindres détails : les époques sèches se groupent autour des années de minimum des taches, et les périodes pluvieuses au contraire autour des maxima.

A Rothesay, dans l'île de Bute (Ecosse) on a des statistiques depuis 1800 : la pluie annuelle totale suit le cycle des taches ; il en est de même pour la pluie de certaines parties de l'année, en particulier la pluie d'été.

Dans l'Europe occidentale, par exemple à Londres, Paris, Bruxelles, Vienne, dans le centre de la France, les oscillations périodiques de la pluie sont beaucoup plus compliquées. Il ne peut pas dès lors être question de rechercher un rapport avec le cycle undécennal.

Cependant on a reconnu une oscillation climatérique à période beaucoup plus longue d'une durée de 35 ans environ. Cette oscillation, déjà observée dans les pluies de l'Inde, a été découverte par Brückner

dans les documents météorologiques pour l'Europe occidentale, non seulement depuis le début du XIXᵉ siècle, mais depuis huit ou dix siècles, autant qu'on en peut juger malgré le peu de documentation qu'on possède pour les époques plus anciennes.

Or, en 1902, M. Lockyer montrait qu'il doit précisément exister dans l'activité solaire une période de 33 à 35 ans comprenant trois périodes undécennales et se superposant aux premières. L'un de ces maxima absolus serait survenu en 1833, le suivant en 1870, et le dernier vers 1906. Celui-ci toutefois est moins apparent et consisterait surtout dans la longue durée du maximum. Or ces maxima absolus coïncident précisément avec les périodes pluvieuses de Brückner.

L'étude des pluies à Londres, à Paris, à Bruxelles montre les mêmes coïncidences. Mes recherches pour le centre de la France m'ont conduit à des conclusions analogues, de sorte que nous serions actuellement en pleine période humide, ce qu'il est inutile de démontrer cette année, après les inondations qui ont ruiné une partie de la France.

Mais les maxima de taches ne coïncident pas absolument avec les maxima de pluie. Il y a une sorte de retard, un *décalage* pour ainsi dire. Le phénomène de la pluie met un certain temps, plusieurs années, à se faire sentir dans nos régions.

De plus, il faut grouper les totaux de pluie et faire des moyennes.

C'est ainsi que les maxima d'activité solaire de 1870, 1884, 1894, ont fait monter la courbe des pluies et ont provoqué les maxima des années groupées au-

tour de 1879, 1887 et 1897. C'est le grand maximum des taches de 1906 qui s'est fait sentir au centre de la France en 1910 et les années suivantes.

En achevant ce travail, j'ai été amené à une autre déduction non moins importante.

Les inondations de la Loire, fleuve qui reste en entier dans le centre de la Frace, sont amenées par des conditions analogues.

Le maximum des taches de

	1816	a amené	les crues de	la Loire en	1826
celui de	1829	»	»	»	1836
»	1837	»	»	»	1846
»	1848	»	»	»	1856
»	1860	»	»	»	1866

etc., etc.

C'est l'explication de ces crues, arrivant tous les dix ou onze ans en moyenne, qui *ne coïncident pas* avec les taches, mais qui *les suivent* et paraissent soumises à une période analogue.

Pour la Seine, nous trouvons que les inondations sont surtout régies par la période de 35 ans. Ainsi toutes les grandes crues, celles de 1802, 1807, 1817, 1850, 1872, 1876, 1879, 1882, 1883, 1910, tombent toutes sans exception pendant des périodes réglées par l'activité du Soleil.

La crue de 1910, si déplorable à tous égards, ne sera sans doute pas la seule que nous faisait prévoir l'activité du Soleil portée à son comble pendant les années 1905, 1906 et 1907.

Telle est l'explication des années pluvieuses que nous avons eues récemment, jusqu'en 1918.

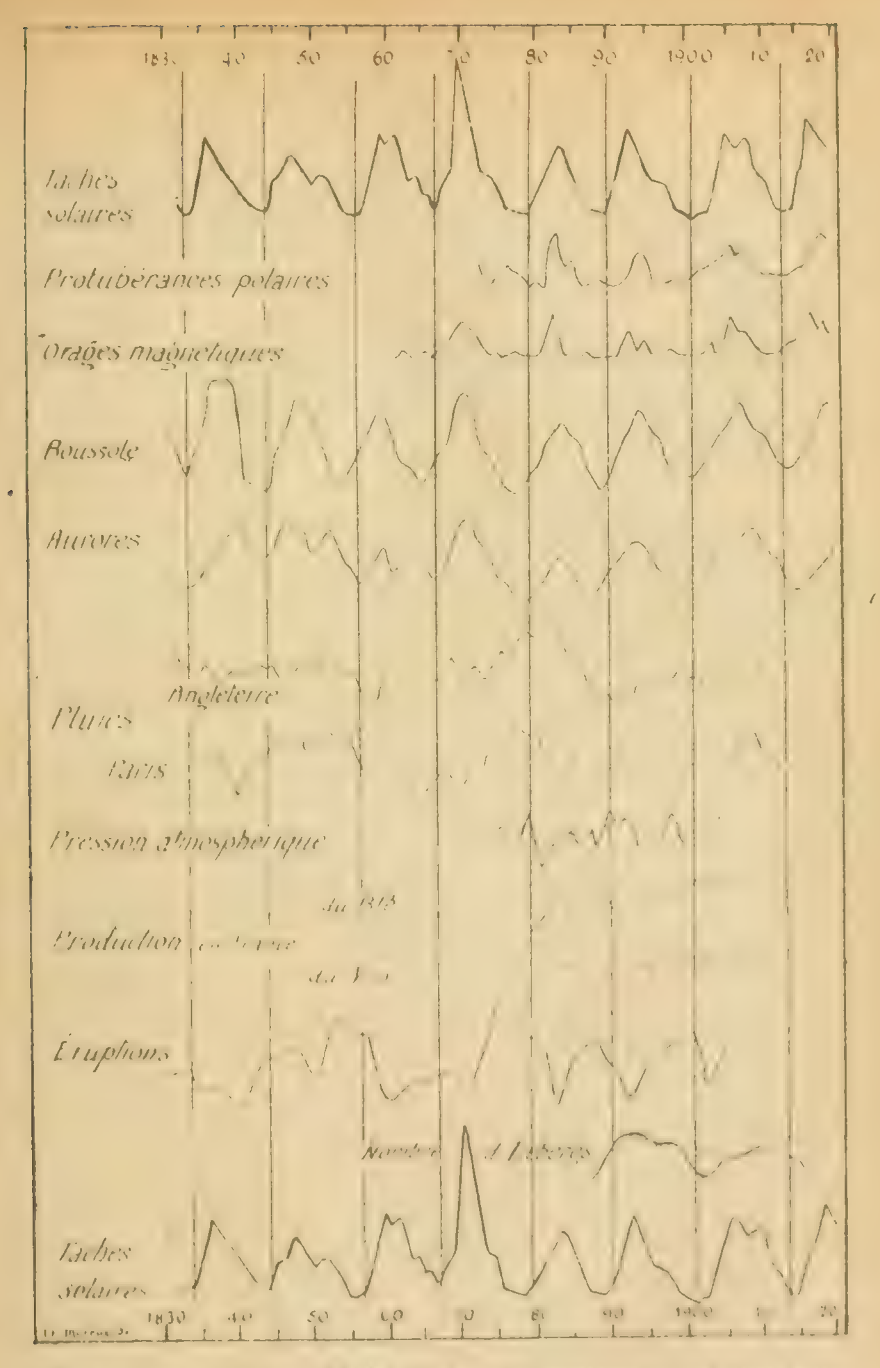


Diagramme établi par l'Abbé Moreux et montrant la relation entre l'activité solaire et certains phénomènes terrestres d'ordre [illegible] [illegible]tologique.

Alors que tout le monde se plaignait, en 1903, de la sécheresse des terrains, de l'épuisement des sources, je pouvais déjà, à cette époque, prédire le retour des pluies et de l'humidité ; et cela, grâce à l'étude du Soleil.

Osera-t-on dire maintenant, que l'Astronomie est une science purement spéculative, sans aucune application pratique ?

Veut-on d'autres preuves de son utilité ? Il suffit d'examiner la courbe du rendement de la vigne et celle de la production du blé, on est aussitôt frappé du parallélisme qu'elles présentent avec la courbe des taches.

L'Astronomie réalise un progrès dans notre science, puisqu'elle nous apprend à prévoir, puisqu'elle nous permet d'ores et déjà d'affirmer que nous allons entrer dans une période d'humidité ou de sécheresse.

L'agriculteur qui veut créer des prairies, le vigneron qui désire reconstituer un vignoble, le grand propriétaire qui doit immobiliser ses capitaux pour des travaux considérables, l'industriel qui doit lancer une affaire basée sur la considération du climat, tous sauront utiliser les renseignements obtenus par les astronomes, et réaliser une économie de temps et d'argent.

Malheureusement, il nous faut nous contenter à l'heure actuelle des prévisions générales sans pouvoir descendre dans le détail. Mais le premier pas est franchi ; à la notion d'un Soleil sans variation calorifique, l'Astronomie moderne a substitué celle d'un astre dont les pulsations vitales, pour ainsi

dire, règlent l'existence des planètes presque dans ses moindres phases.

La Météorologie nous apparaît alors, non comme un amas de statistiques sans lien d'aucune sorte, mais comme une véritable science dont nous commençons à épeler les lois générales. Tous ces phénomènes que nous voyons s'opérer journellement sous nos yeux, au sein de cette mince pellicule atmosphérique enveloppant la Terre, toutes ces manifestations électriques dont elle est le siège, tout cela prend son origine dans le Soleil, notre vie dépend de la sienne, nous sommes baignés dans ses effluves. Ses rayons fécondants nous apportent un écho des lointaines tempêtes qui secouent ses enveloppes.

L'astronome constate une fois de plus cette merveilleuse harmonie qui relie les mondes, et son esprit habitué à remonter des effets aux causes, pénètre plus avant et rend un nouvel hommage à Celui qui règle le cours des astres, qui dicte ses lois au Soleil comme à la Terre et qui dans l'immense Univers a tout arrangé avec poids et mesure.

Les Étoiles nouvelles

Aucun sujet, depuis que les hommes observent la voûte céleste, n'a paru passionner l'astronome-physicien comme la solution du problème des *novæ*.

Si l'on se borne à la définition du mot *nova*, il semble qu'on doive admettre qu'à certaines époques, il existe des apparitions d'étoiles surgissant brusquement des profondeurs de la voûte céleste.

A en croire une légende difficile à vérifier, ce serait à l'observation d'une étoile nouvelle que nous serions redevables de la vocation astronomique stellaire du grand Hipparque.

L'an 134 avant notre ère, un astre nouveau, de première grandeur, avait, en effet, brillé dans la constellation du Scorpion : aussitôt, le savant de se mettre à l'œuvre pour dresser un catalogue des étoiles visibles à l'œil nu, sous le ciel de Bithynie. Dès lors — et c'était sans doute la pensée d'Hipparque — nulle contestation ne devait plus s'élever désormais sur l'authenticité des futures *novæ*.

En fait, cependant, l'application de la photographie à la statistique des soleils de l'espace, devait montrer plus tard, que le terme d'*étoile nouvelle* semble assez mal choisi.

Plusieurs *novæ* existaient certainement avant que leur éclat les eût signalées à l'attention des observa-

teurs. L'étoile apparue dans la constellation des Gémeaux, le 12 mars 1912, et que M. Enebo nota de magnitude 4,3, le jour où il la découvrit, put être identifiée d'une façon à peu près certaine avec un astre faible, de magnitude 15, visible sur des clichés obtenus en 1909, c'est-à-dire trois ans auparavant.

De même, la *nova* de la Couronne boréale, classée de magnitude 2, au moment de sa découverte, le 12 mai 1866, coïncidait exactement avec une étoile de magnitude 9,5 que Schœnfeld avait placée dans le catalogue de la *Bonn Durchmusterung*.

A côté de ces exemples qu'on pourrait multiplier, nous enregistrons, au contraire, des étoiles qui semblent bien, suivant la pittoresque expression de miss Clerke, être réellement « des parvenues » : témoin cette *nova* du Cygne, découverte le 24 novembre 1876, par M. Schmidt, d'Athènes ; à sa position repérée, on ne put enregistrer aucune étoile antérieure de grandeur quelconque.

De tels résultats, précisément parce qu'ils sont négatifs, ne sauraient convenir pour trancher la question de savoir si des corps célestes peuvent inopinément surgir dans un endroit où rien n'existait auparavant.

Les idées sur la formation de l'Univers et la genèse des soleils ont heureusement évolué depuis les contemporains de Tycho. Beaucoup d'astronomes du XVIe siècle admirent volontiers que les *novæ* sont le résultat d'agglomération d'une portion de la matière répandue dans l'espace : on pouvait donc se trouver dans certains cas en présence d'une véritable création nouvelle.

Ces novateurs, hardis à leur époque, étaient combattus par tous ceux qui, traditionalistes, se ralliaient à l'antique croyance de l'immutabilité des cieux. Pour eux, le monde, sans aucun doute, avait été créé tout d'une pièce et dans un état d'entière perfection ; aucune évolution future n'en pouvait modifier le plan primitif. L'apparition d'une *nova* s'expliquait, disaient-ils, par un rapprochement subit de l'étoile et sa diminution rapide d'éclat par un éloignement non moins brusque : hypothèses enfantines que les mesures de parallaxe et de distances stellaires devaient reléguer dans un univers chimérique.

D'autres admettaient l'existence antérieure de l'astre, à la place même de son apparition ; quelque orbe céleste analogue aux sphères de cristal venait-il, à la manière d'un phare tournant, interposer entre la Terre et l'étoile, une partie plus dense — telle une lentille — il en résultait un éclat subit et momentané de l'astre censé nouveau.

Quelques esprits plus imaginatifs dotaient certaines étoiles de faces diversement lumineuses : « Quand Dieu veut montrer aux hommes quelques signes extraordinaires, écrivait le P. Riccioli, il fait tourner brusquement une de ces étoiles sur son centre ; par une semblable révolution, l'étoile qui apparaît un instant très brillante, se dérobe à nos regards, soit subitement, soit seulement peu à peu, comme la Lune dans son décours, suivant les circonstances de son mouvement. »

Ces explications, pour puériles qu'elles nous paraissent à l'heure présente, témoignent, tout au moins, d'un zèle soucieux d'expliquer les moindres

particularités des apparitions des *novæ*. Non seulement, en effet, ces astres curieux augmentent rapidement d'éclat, au point d'atteindre en peu d'heures ou de jours de fortes grandeurs stellaires, mais ils manifestent une splendeur qui n'a jamais de lendemain. C'est pour cette raison que les astronomes ont rangé les *novæ* dans une classe des variables non-périodiques, sous le nom d'*étoiles temporaires*.

Cette appellation, est-il besoin de le faire remarquer, n'a guère plus de raison d'être que celle d'étoile nouvelle. De même, en effet, qu'avant l'usage des télescopes, on regardait les *novæ* comme de véritables créations, de même on s'était imaginé que ces astres disparaissaient « après une vie qui aurait été courte pour un être humain et encore bien plus brève pour une étoile ». Et S. Newcomb, auquel j'emprunte ces lignes, d'ajouter aussitôt : « Il est à peine nécessaire de dire qu'une telle hypothèse ne peut trouver place dans la science moderne. »

En fait, après avoir brillé pendant plusieurs semaines ou même plusieurs mois, les *nova* reviennent lentement à leur grandeur primitive ; et si certaines disparaissent sans retour, ce peut être simplement parce qu'elles franchissent la limite de notre sensibilité rétinienne ou photographique.

Jusqu'à plus ample information, nous pouvons donc admettre qu'une *nova* est une étoile qui augmente énormément d'éclat une seule fois dans la période de son existence — autant qu'il nous est permis de le constater — pour revenir à son état antérieur qu'elle conserve sans grandes variations dans la suite.

Cette définition répond-elle à tous les cas possibles ? C'est ce que nous ignorons ; car, sur la trentaine d'étoiles nouvelles enregistrées depuis les temps historiques, plusieurs sont douteuses ; celles observées visuellement ne sauraient fournir une base solide de discussion ; il ne reste donc, au total, qu'une quinzaine de cas bien étudiés au spectroscope ou à l'aide de la photographie, et c'est sur ce maigre bilan qu'il nous faut asseoir des théories.



Deux pensées maîtresses résument à l'heure actuelle les idées régnantes sur la nature des *novæ* : l'hypothèse de la *collision* et celle de l'*explosion*.

Toutes les deux se rattachent, par quelque côté, aux vues les plus audacieuses sur la formation des mondes et la constitution de l'Univers.

A ce compte, elles relèvent, jusqu'à un certain point, des questions cosmogoniques et c'est à ce titre que j'ai entrepris leur étude. Cette notice n'a d'autre prétention que de fournir un résumé très succinct des solutions possibles d'un problème extrêmement complexe et dont les données, au surplus, sont à peine connues et suffisantes.

L'ensemble des sondages opérés dans le ciel depuis William Herschel, a mis en évidence une loi assez simple de la distribution des étoiles : La densité stellaire augmente depuis les pôles galactiques, jusqu'au plan médian de la Voie lactée.

Notre Univers, celui du moins qui est accessible à notre vision instrumentale, n'aurait donc pas préci-

sément la forme d'un disque plat, comme le supposait Herschel, mais serait contenu dans une enceinte grossièrement limitée par les surfaces d'une lentille biconvexe.

Toutefois, les étoiles sont loin d'être réparties régulièrement au sein de cette sorte d'ellipsoïde très aplati : faible au centre, la densité stellaire s'accroît vers les bords de la lentille, de sorte que l'ensemble serait assez bien représenté par un anneau d'un diamètre moyen de deux ou trois mille années-lumière (1), espèce de tore plus ou moins régulier tout rempli d'étoiles.

Mais ce n'est pas tout ; Easton a montré récemment que les apparences de la Voie lactée s'accordent avec une distribution des étoiles en spirale, dans l'intérieur de notre Univers. Cependant, alors que pour cet astronome les spires sont convergentes vers le milieu de la lentille, tout me porte à croire, au contraire, que les branches spirales sont divergentes. L'anneau extérieur, dans cette hypothèse, exercerait une puissante attraction sur les étoiles centrales, si bien que la Voie lactée serait le terme commun où aboutiraient les membres isolés des grands courants stellaires. En de lentes processions, les astres dont la vue nous est familière se hâteraient vers les bords de la fabuleuse agglomération dont nous faisons partie.

Peut-être faut-il rechercher là l'effet constaté par

(1) *Année-lumière*, unité de mesure en astronomie stellaire : c'est le chemin que parcourt la lumière en une année ; il équivaut à 10 milliards de kilomètres environ.

Kapteyn et l'explication du double courant déjà enregistré.

Quoiqu'il en soit, ma théorie vient donner à l'hypothèse de la collision un appui qu'on ne soupçonnait guère auparavant.

On sait que la plupart des *novæ* apparaissent dans ou sur les bords de la Voie lactée, c'est-à-dire aux endroits du ciel où la densité stellaire est le plus considérable. Ce fait, qui souffre peu d'exceptions, s'explique fort bien, disent les partisans de la théorie de la collision, si nous considérons qu'au centre de l'Univers, les étoiles sont fort éloignées les unes des autres et que, par conséquent, les rencontres d'astres brillants ou éteints sont peu probables.

Prenons notre Soleil comme exemple : nous voyageons avec lui au taux de 20 kilomètres environ par seconde. Si nous supposons les étoiles qui nous entourent à une distance moyenne de 10 années-lumières, une collision avec l'une d'elles n'aura des chances de se produire qu'au bout de 100 000 milliards d'années, d'après Arrhénius.

Admettons ces chiffres fort discutables ; il est évident toutefois que si notre Soleil traversait une partie cent fois plus dense, la rencontre arriverait plus facilement ; 1 000 milliards d'années seulement suffiraient pour amener semblable phénomène.

Or, les clichés récents de la Voie lactée démontrent amplement que la densité des espaces célestes est certainement beaucoup plus grande d'une façon absolue, dans les régions voisines du plan médian galactique et dans le voisinage de l'anneau stellaire,

dont j'ai parlé, que dans les contrées centrales où nous voguons à l'heure actuelle.

Cette densité est encore accrue par le fait, non constaté, mais très vraisemblable, que les astres éteints circulent en grand nombre dans l'espace.

Les rencontres aux abords de l'anneau stellaire galactique doivent donc *a priori* être très nombreuses, et c'est précisément ce que nous constatons au moment de l'apparition des *novæ*.

Le principe, une fois admis, le champ reste libre pour le mécanisme qui doit produire le résultat. Ou bien, la rencontre aura lieu entre deux soleils trop faibles pour être aperçus séparément et alors, la collision les fusionnant, créera un astre nouveau dont la température s'accroîtra dans de fortes proportions ; ou bien, le choc s'effectuera entre un soleil à l'agonie et un astre noir roulant sa masse éteinte depuis longtemps dans les steppes glacés des déserts intersidéraux ; ou bien, les deux soleils se frôleront et il en résultera pour chacun un regain d'activité, un brassage des gaz internes qui réveillera leurs forces momentanément assoupies ; ou encore, sous l'influence de leurs attractions mutuelles, leur trajectoire s'infléchira, les deux astres rapprocheront leur distance et, après avoir soulevé à leur surface des marées formidables, continueront leur chemin vers des régions opposées et lointaines.

Arrêtons-nous dans cette énumération ; déjà, la dernière hypothèse, bien qu'elle constitue le développement logique de la première, nous mènerait directement à la théorie de l'explosion que nous envisagerons plus tard.

Examinée du seul point de vue mécanique, la supposition d'un choc, fût-il simplement oblique, ne suscite aucune objection capitale ; c'est donc à l'expérience qu'il fallait s'adresser pour en avoir la justification. Or, cette occasion se présenta au commencement de l'année 1892, lorsque le Dr Anderson annonça l'apparition d'une étoile temporaire dans le Cocher. C'était la première fois que les astronomes allaient pouvoir photographier le spectre d'une *nova* et mettre ainsi en évidence permanente les particularités constatées. Un premier examen fit découvrir, à côté des raies brillantes déjà connues, toute une série de raies noires qui doublaient les premières ; puis, fait plus étrange encore, les déplacements des unes et des autres se produisaient en sens opposé.

En appliquant le principe Doppler-Fizeau relatif aux vitesses radiales, tout se passait donc comme si deux astres animés de vitesses contraires s'étaient trouvés en présence : en d'autres termes, le spectre révélait l'existence de deux étoiles, l'une brillante, de nature gazeuse, s'éloignant de nous au taux de 308 kilomètres par seconde, l'autre plus semblable à notre Soleil et se rapprochant à raison de 512 kilomètres dans le même temps. Les deux astres s'étaient donc précipités l'un vers l'autre avec l'énorme vitesse de 820 kilomètres par seconde, et il en était résulté, soit une légère collision, soit un phénomène de double marée ayant provoqué l'embrasement observé par Anderson.

Ainsi, tout semblait en faveur de l'hypothèse en vogue, lorsque ne tardèrent pas à surgir des complications. Si la théorie était exacte, on allait voir bien-

tôt diminuer la vitesse relative des deux corps célestes ; or, il n'en fut rien ; trois mois après la rencontre, les déplacements des raies n'accusaient aucun changement. Seules, des masses énormes en présence — 15 000 fois celle de notre Soleil, d'après Seeliger — pouvaient rendre compte de l'étrange constatation ; et encore fallait-il supposer que chacune d'elles parcourait exactement une parabole ; ou bien les orbites étaient hyperboliques et, dans ce cas, chaque étoile possédait sa vitesse propre depuis les extrêmes limites de l'espace : les invraisemblances s'accumulaient.

Un examen plus approfondi du spectre montra enfin que la collision de deux corps était notoirement insuffisante pour expliquer tous les phénomènes constatés : Vogel réclama la présence d'un troisième astre, Campbell en demanda quatre, Schumann fit remarquer qu'on pouvait avec autant de raison en exiger six, et, finalement, Vogel jeta dans la mêlée un nombre indéfini de planètes.

Au surplus, un cataclysme aussi formidable produirait une telle volatilisation des matériaux en présence qu'il faudrait des milliers de siècles pour que la condensation de l'astre nouveau pût s'opérer entièrement ; or, nous l'avons vu, tel n'est pas le cas des étoiles temporaires qui reviennent relativement vite à leur éclat primitif.

Ainsi, la théorie de la collision sombrait sous l'ensemble des faits à expliquer et il fallait chercher une autre hypothèse. Déjà sir William Huggins avait fait observer que la complexité du spectre pourrait être due, en partie, à des renversements dans l'atmos-

phère d'une étoile unique. Imaginons, en effet, que pour une cause quelconque, la photosphère et la chromosphère de notre Soleil soient le siège d'une activité cent fois, mille fois plus intense ; immédiatement, nous constaterons, mais sur une vaste échelle, toutes les particularités spectrales offertes par les *novæ* : renversements et déplacements rapides des raies en connexion avec des phénomènes d'absorption et d'émission, amplifiés par le volume des gaz et des forces mis en jeu. Un observateur non averti serait donc mal inspiré d'appliquer ici le principe Doppler-Fizeau et il ferait beaucoup mieux de se souvenir des belles expériences de Humphrey et Molher. Ces deux physiciens ont en effet montré, dès 1895, que les raies du spectre peuvent fort bien être déplacées vers le rouge par un simple accroissement de pression (1).

Les effets, à vrai dire, sont identiques dans les deux cas, mais combien plus naturelle se présente à notre esprit cette hypothèse des perturbations d'une atmosphère stellaire où la poussée des gaz internes provoque de formidables explosions.

Parce qu'elle évitait les objections de la théorie de la collision, et qu'elle expliquait *la plupart* des faits constatés, l'hypothèse de l'explosion fut généralement adoptée par les astronomes. Toutefois, ceux-ci durent bientôt s'avouer que la nouvelle ex-

(1) Une simple augmentation de pression de 13 kg. par centimètre carré amène un déplacement des raies correspondant à une vitesse d'éloignement de plus de 3 kilomètres par seconde.

plication était loin d'être aussi générale qu'on l'avait supposé de prime abord.

Les spectres des étoiles temporaires sont, en effet, très loin de présenter les mêmes caractéristiques : les raies brillantes n'y sont pas toujours doublées d'un compagnon noir ; les *novæ* du Centaure (1895) et du Sagittaire (1898) découvertes par Mme Fleming en sont deux bons exemples. Ce fait, rapproché de plusieurs autres, nous suggère pour les étoiles temporaires des origines qui pourraient fort bien être différentes.

Cette complexité dans la genèse de ces astres ne fut jamais aussi bien mise en évidence que lors de l'apparition de la *nova* de Persée, le 22 février 1901.

En deux jours seulement, la nouvelle étoile devint l'astre le plus brillant de notre hémisphère boréal ; mais déjà le déclin commençait. Loin de baisser régulièrement, la courbe d'intensité lumineuse présenta de fréquents soubresauts, toujours accompagnés de variations spectrales. Du type Orion au maximum d'éclat, le spectre devint semblable à celui de la *nova* Cocher, raies brillantes doublées d'un compagnon noir. Interprétés d'après le principe Doppler-Fizeau, les déplacements des raies noires conduisirent à une vitesse de 1 600 kilomètres par seconde. Devant un résultat aussi invraisemblable, on songea à faire intervenir la pression, mais, cette fois, on jouait de malheur ; les déplacements qui, en l'occurrence, auraient dû se produire vers le rouge, se manifestèrent en sens opposé !

Bientôt la *nova* prit le caractère d'une étoile variable à courte période, avec des colorations liées à

son éclat. En juillet 1901, nouveau changement plus radical : le spectre était celui d'une nébuleuse planétaire, circonstance déjà constatée, d'ailleurs, dans plusieurs *novæ* à leur déclin. Au commencement du mois d'août, la principale radiation du nébulium y était nettement prépondérante, mais à la fin du même mois, on vit se produire un fait inattendu qui allait ouvrir aux chercheurs la voie des plus audacieuses spéculations.

Des photographies longuement exposées montrèrent, en effet, autour de la *nova*, des masses nébulaires irrégulières dont l'ensemble représentait, à la fin de septembre, une vaste formation spirale. L'examen des clichés antérieurs fournit, en outre, la preuve que le développement de ce voile nébuleux avait débuté avec l'apparition de l'astre.

Alors, de deux choses l'une : ou bien, les masses nébulaires avaient jailli de l'étoile, projetées au loin par les forces intérieures ; ou bien, la nébuleuse préexistait à la *nova* et son expansion radiale n'était qu'une illusion provenant du fait que la lumière, émanée de l'astre central et réfléchie, nous parvenait après avoir atteint des couches de rayon graduellement croissant.

Les deux cas soulevaient, d'ailleurs, les problèmes les plus ardus de la Cosmogonie. Si le dernier paraissait de beaucoup le plus rationnel, le premier réunissait en sa faveur de nombreux faits dûment constatés lors de certaines apparitions précédentes.

Les étoiles temporaires de 1860, 1885 et 1895 semblaient plongées à l'intérieur de nébuleuses préexistant à leur apparition ; toutefois, ceux qui prétendent

que ce sont les nébuleuses qui dérivent des *novæ* font remarquer, avec non moins de raison, que bon nombre d'étoiles nouvelles terminent leur existence éphémère en émettant un spectre précisément analogue à celui des nébuleuses : tel fut le cas des *novæ* de 1876, de 1893 et de plusieurs autres découvertes par Mme Fleming, notamment celles de 1898 et de 1900.



L'antinomie des phénomènes accompagnant l'apparition et l'extinction des *novæ* pourrait fort bien n'être qu'apparente ; peut-être disparaîtrait-elle si les partisans des hypothèses en présence nourrissaient des idées moins exclusives.

Tous reconnaissent que la théorie de la collision n'est pas pleinement satisfaisante ; mais il est non moins certain que celle de l'explosion restera toujours incomplète, tant qu'elle ne nous fournira pas les causes mêmes du cataclysme. Enumérer toutes ces causes et les discuter sortirait du cadre de cette étude forcément restreinte ; nous nous bornerons donc, en terminant, à exposer brièvement quelques suggestions propres à fournir des éléments de solution du problème.

Pour fixer les idées, imaginons un soleil comme le nôtre, de grandeur stellaire moyenne, et cherchons dans quelles occasions des perturbations, avec explosions violentes, pourraient se produire dans ses enveloppes.

Dans son rapide voyage intersidéral, bien des em-

bûches lui sont tendues. L'espace n'est pas aussi dénué de matière qu'on le croit généralement ; des rencontres et des chocs sont possibles.

Supposons d'abord qu'il s'approche d'un soleil éteint : cela suffira pour provoquer une formidable marée. Dans son état actuel, le Soleil est soumis à une activité périodique se répercutant non seulement dans la photosphère, mais encore dans la chromosphère et dans la couronne. J'ai montré à plusieurs reprises, et notamment dans *Le Problème Solaire* (1), que la cause de l'activité du Soleil réside, non pas dans son intérieur, mais à l'extérieur ; ce sont les phénomènes de condensation coronale qui, agissant par une augmentation de pression dans les régions équatoriales, créent, par là même, des centres de dépression vers les latitudes plus élevées. De là, ces violentes poussées des gaz intérieurs amenant les manifestations protubérantielles.

À plus forte raison, cette diminution de pression serait-elle largement favorisée si un astre de masse énorme soulevait, au moment de son approche, de puissantes marées à la surface de notre étoile centrale. Emprisonnés, comme ils le sont maintenant, à des millions d'atmosphères, les gaz intérieurs rompraient leur enveloppe et se précipiteraient dans la direction de la nouvelle masse attirante. La rotation solaire n'ayant pas cessé, le phénomène se répartirait sur une large zone et bientôt toute la masse participerait à l'explosion. Nous aurions encore un spec-

(1) *Le problème solaire* par l'Abbé Th. Moreux, Edition « Scientifica », 87, boulevard Saint-Germain, Paris.



Nuages et courants de matière noire
:: :: associés à des objets nébulaires
dans la Constellation d'Ophiucus ::

tre semblable à celui du Soleil actuel, mais les distorsions et les déplacements des raies avertiraient un spectateur lointain qu'un cataclysme effrayant bouleverse jusque dans ses profondeurs un soleil déjà refroidi par les siècles accumulés.

Le premier résultat d'une telle catastrophe serait de rajeunir notre Soleil, en augmentant considérablement son volume apparent et en diminuant sa densité moyenne. A un accroissement subit d'éclat et probablement de température, succéderait une rapide diminution des combinaisons chimiques et, suivant l'amplitude du phénomène, l'absorption des enveloppes pourrait être assez prépondérante pour paraître transformer l'astre soumis à ce régime en une véritable nébuleuse planétaire.

Est-ce à dire qu'on pourrait pousser plus loin les déductions et admettre que l'effet de la rencontre serait de nature à provoquer la formation d'une nébuleuse analogue à celles que nous découvrons dans les profondeurs célestes ? Je ne le pense pas et voici quelques-unes de mes raisons. Il est facile de démontrer, en s'appuyant sur les principes de l'Analyse et de la Mécanique, qu'un corps en rotation, émettant normalement des projections gazeuses, ne peut déterminer que la formation de traînées nébulaires disposées en forme de spirale d'Archimède. Or, aucune des nébuleuses connues n'offrent une telle disposition ; toutes celles qui manifestent une tendance spiraloïde, possèdent des branches largement ouvertes, ressemblant plutôt au type de spirale dit en limaçon.

Les nébuleuses du ciel ne sont donc pas produites

sous l'influence de forces centrifuges divergentes, mais sous l'action de forces convergentes ; les masses y sont attirées vers le centre et non repoussées à la périphérie. Au reste, les forces répulsives, de quelque étiquette qu'on les affuble, paraissent impuissantes à construire les nébuleuses que nous connaissons et qui toutes atteignent des grandeurs inimaginables. En les voyant évoluer, nous assistons, non à la genèse de systèmes analogues au nôtre, mais à la construction d'amas stellaires très développés.

C'est sans doute une formation de ce genre qu'a rencontrée la curieuse *nova* de Persée, dont nous avons retracé l'histoire. En réalité, notre Soleil tombant dans un amas d'étoiles, au sein d'une nébuleuse ou dans un nuage de météorites subirait des phénomènes semblables à ceux que nous avons décrits du fait de la rencontre d'un soleil éteint ou de faible éclat.

Dans toutes ces circonstances, la masse solaire serait bouleversée momentanément, et c'est peut-être le sort qui attend notre étoile centrale, lorsque, poussée par une force irrésistible, elle atteindra, dans quelques milliers de siècles, les abords de la grande ceinture galactique.

Les Influences astrales

Jamais, depuis les peuples pasteurs d'autrefois, la terre ne vit éclore autant d'observateurs qu'aux moments troublés où nous vivons. Les moins crédules cherchent en haut les signes célestes révélateurs infaillibles de nos destinées. Un astre brille-t-il au ciel d'un éclat inaccoutumé, aussitôt on entend parler de l'étoile de la victoire.

Les astres auraient-ils une influence sur les destinées des mortels, comme se plaisaient à le professer les astrologues du moyen âge ? Chacun de nous aurait-il sur la voûte céleste une étoile présidant aux actes de sa vie et réglant pour lui les décisions de l'implacable destin ?

C'est à la science de nous répondre. Interrogeons-la donc à la lumière des acquisitions les plus récentes de l'astronomie moderne.

« Qu'êtes-vous, nous dit-elle, hommes orgueilleux, au milieu du grandiose univers ? Votre planète, sur laquelle se débat l'humanité, est à peine un grain de poussière lancé au gré du vent dans le grand désert africain ; il est même téméraire aux plus grands d'entre vous de se comparer à un microbe rampant sur cette terre minuscule perdue dans l'ensemble des astres. »

Sans doute nous sommes entourés d'étoiles, soleils

parfois monstrueux ; mais si l'attraction relie les mondes célestes, elle s'exerce d'une façon si faible aux distances qui nous séparent des systèmes sidéraux, même voisins, que nos meilleurs instruments de mesure sont impuissants à la révéler.

Les photographies et les études récentes nous incitent à penser que l'univers où nous vivons, où nous mourrons, et dont la Terre ne sortira jamais, ne contient que quelques centaines de millions d'étoiles ; mettons un milliard et ce sera un gros maximum. Un milliard d'étoiles ! mais alors vous conviendrez qu'il n'en existe même pas *une* pour chacun de nous ! Voilà qui relègue aux pays des légendes cette conviction de nos ancêtres que chaque mortel avait son étoile au sein de l'armée céleste.

Mais il y a mieux : supprimez par la pensée cinquante millions d'étoiles prises au hasard, personne ici ne pourrait en apercevoir les conséquences.

Notre Terre, comme un coursier dans un manège, accomplirait son voyage annuel à raison d'une trentaine de kilomètres par seconde ; aucune planète ne serait déplacée et notre Soleil, d'un vol aussi rapide, continuerait à nous entraîner vers la belle étoile bleue qui étincelle dans la constellation de la Lyre et qui a nom Véga.

Les étoiles les plus proches, celles dont nous avons mesuré les distances, gisent à des trillions de kilomètres ; pour nous venir de ces mondes lointains, la lumière, qui vole à raison de 300 000 kilomètres par seconde, est obligée de marcher pendant des années. Les intervalles entre les mondes de l'univers varient entre quatre et dix ou quinze années de lumière en-

viron. Autant dire que le système solaire est pratiquement isolé dans l'espace.

Ainsi les astres en général ne peuvent exercer aucune action sur la Terre : les uns sont trop loin et les autres trop minuscules pour faire sentir leur influence sur nos affaires terrestres ; toutefois, parmi les membres de la famille solaire, il en est deux qui par leur grosseur ou leur proximité semblent échapper à la règle générale. Ces deux astres sont le Soleil et la Lune, dont les actions combinées amènent sur notre planète les plus curieux effets.

Contentons-nous d'exposer aujourd'hui les influences solaires. C'est à vrai dire tout un chapitre de l'astrologie moderne, mais d'une astrologie que renieraient nos devanciers du moyen âge.

Cette grosse boule de feu, un million trois cent mille fois plus volumineuse que la Terre, régit tous les organismes de notre planète.

Baigné de ses fécondants rayons, jour et nuit notre globe aspire sa chaleur et sa lumière. Mais la source qui nous réchauffe n'est point constante ; il y a vingt ans que j'affirme cette vérité, et j'ai enfin la satisfaction de constater que celle-ci progresse dans le monde des astronomes, même étrangers à la science du Soleil.

Notre grosse étoile centrale est comparable à une ardente fournaise dévorant en quatre années et demie le combustible qui l'alimente. Puis le foyer s'atténue pendant les sept années suivantes, après quoi les mêmes phénomènes reparaissent.

La vie entière de l'astronome ne suffit plus pour étudier les manifestations variées des enveloppes so-

laires : nuages incandescents portés à une température de 6 000 degrés ; ouragans terribles couvrant des surfaces mille fois supérieures à celle de la Terre et provoquant l'apparition périodique des taches ; explosions formidables qui engloutiraient des centaines de planètes comme la nôtre ; orages terrifiants près desquels les convulsions de notre mince atmosphère ne sont que jeux enfantins.

Sans doute, à la distance où nous sommes, nos yeux, sans le secours des télescopes, ne devinent rien des pulsations de cet organisme formidable dont la complexité effraie les savants ; mais la physique moderne a décuplé nos sens ; chaque jour la plaque photographique enregistre les fluctuations des enveloppes solaires ; attentif derrière ses instruments, armé de spectroscopes, l'astrologue actuel — je veux dire l'astronome — suit les phases de la lutte titanesque dont les péripéties se déroulent sous ses yeux émerveillés.

Toutefois ce rayon de lumière émané de la fournaise en ébullition ne nous apporte pas seulement le reflet des combats épiques que se livrent là-haut les éléments déchaînés. Protée aux formes incessamment changeantes, le rayon lumineux recèle en son sein toute la gamme des radiations, depuis celles qui éclairent jusqu'à celles qui échauffent, qui électrisent, qui vivifient, et qui fécondent.

Sous cette mécanothérapie naturelle et savante, la Terre vibre à l'unisson de la harpe solaire ; la mince pellicule sur laquelle rampe le microbe humain est secouée de frissons convulsifs.

Nous avons vu que toutes les onze années environ,

l'activité du Soleil augmente ; la raison du fait n'est pas facile à saisir. J'ai essayé, dans mon *Problème solaire*, d'en donner une explication rationnelle ; il y aurait là, à mon avis, un simple mécanisme de condensation. Les matériaux épars autour du Soleil et qui alimentent cet énorme foyer y sont attirés par couches quasi-concentriques. A une période de chute doit correspondre un accroissement de chaleur dû à une combustion plus complète. Et la preuve, c'est qu'aux moments où le phénomène se manifeste, de grandes surfaces sombres apparaissent sur le disque solaire : ce sont les *taches*, régions où, en raison de l'élévation inouïe de la température, tous les matériaux sont gazéifiés et nous apparaissent avec des teintes violet foncé. Les études les plus récentes, en particulier l'examen spectroscopique des taches et des nuages incandescents du Soleil, ont pleinement confirmé ma théorie et mes hypothèses. L'astre du jour agit sur la Terre comme un foyer intermittent. Il y avait donc lieu de se demander si cette source calorifique, dans ses variations, n'avait pas une répercussion sur notre climatologie et sur un grand nombre de phénomènes connexes.

Or, en fait, il y a déjà longtemps que le grand Herschel trouvait une relation entre le nombre des taches et le prix du blé en Angleterre. J'ai montré autrefois, statistiques en main, que la production du blé dans le monde et celle de la vigne en France suivaient pas à pas la courbe de l'activité solaire. Plus récemment, j'ai trouvé que le nombre d'icebergs détachés du pôle nord et voguant à la dérive dans l'Atlantique est en rapport avec le phénomène des ta-

ches solaires. Ainsi, par un contre-coup facilement explicable, notre climat, qui dépend entièrement du Gulf-Stream, peut subir des changements de température inverses de la chaleur du Soleil.

Toutefois, dans les régions continentales voisines de l'équateur, l'augmentation de chaleur aux périodes de maximum des taches s'accuse très nettement ; dans ces conditions, l'évaporation des océans augmente et les chutes de pluie suivent d'assez près le maximum undécennal des taches.

L'influence du Soleil ne s'arrête pas là : tous les onze ans, l'électricité solaire dégagée par les phénomènes chimiques dus à la combustion des matériaux volatilisés dans l'infernale fournaise vient par influence exciter notre atmosphère ; les aurores polaires redoublent alors d'intensité au-dessus des régions glacées de notre planète ; l'aiguille magnétique s'affole et nos boussoles perdent le nord ; de grands courants électriques sillonnent le globe dans le sens de la rotation ; les lignes télégraphiques cessent de fonctionner des heures et même des journées entières ; les gaz intérieurs soulèvent l'écorce terrestre, les volcans s'allument, les cyclones parcourent les océans ; nul atome, nul être vivant ne peut se soustraire aux forces mystérieuses qui s'échappent de l'astre central.

Toutefois ces manifestations s'exagèrent encore tous les trente-quatre ans ; la crise solaire se fait alors sentir surtout dans nos latitudes, où les cycles de pluie et de sécheresse alternent par demi-périodes de dix-sept années environ.

Devant de tels faits, ce serait folie de croire que

l'être humain peut échapper à l'influence des convulsions solaires. Notre organisme est beaucoup plus sensible que ne le supposaient les physiciens d'autrefois : nous ne voyons pas l'électricité, et cependant nous la sentons lorsque menace l'orage.

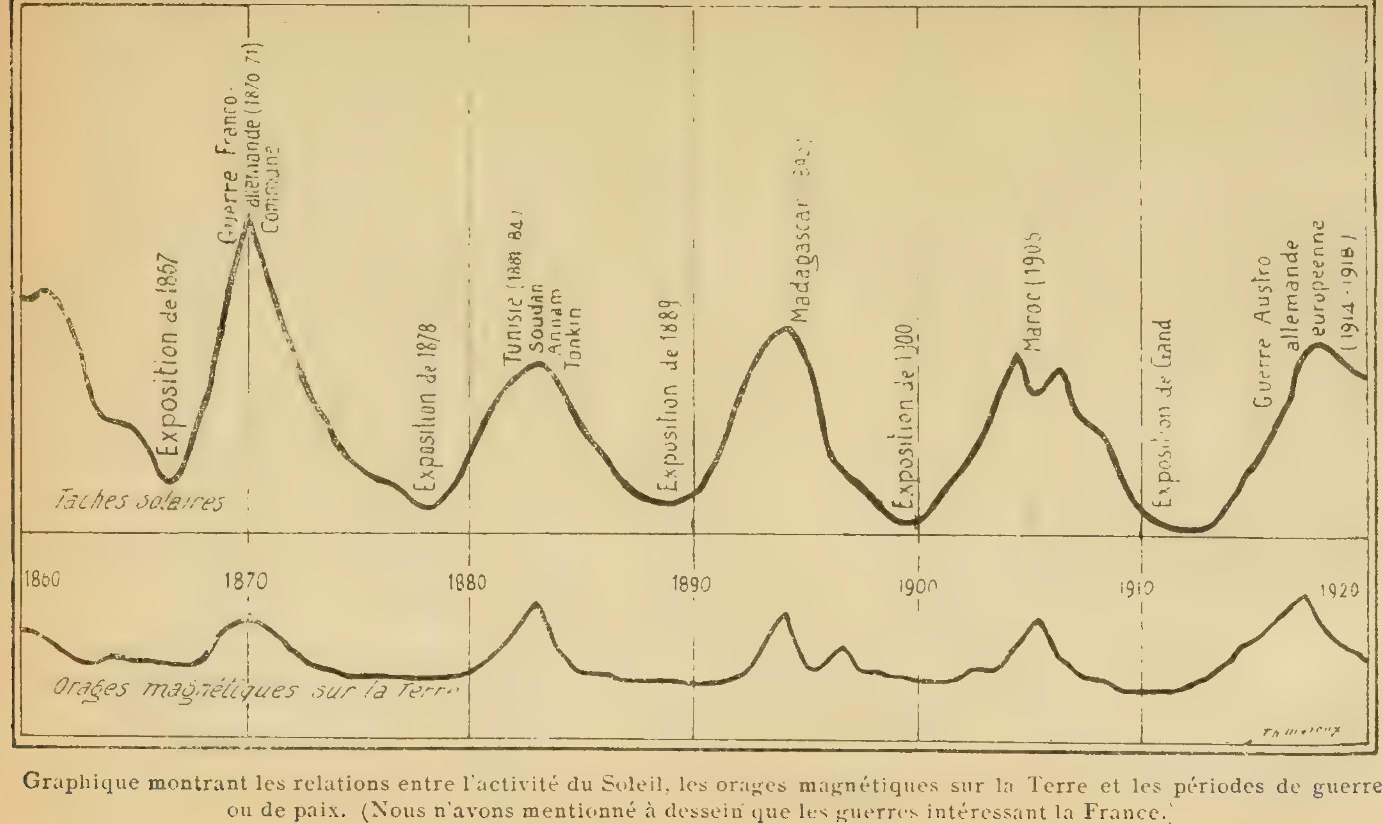
Le flux électrique émané du Soleil doit donc influencer notre système nerveux et se traduire par des effets tangibles sur une nature toujours prête à enregistrer les ondes parcourant l'atmosphère.

N'a-t-on pas constaté chez l'homme l'existence de courants analogues à ceux qui sillonnent nos lignes télégraphiques ? Chacun de nous est comparable à une sorte de pile ou mieux de dynamo qui s'entretient elle-même, qui développe autour d'elle un champ magnétique défini, une machine où circule un fluide dont le potentiel varie à chaque instant. La substance nerveuse paraît, en effet, manifester des pôles à l'instar d'un aimant, ou peut-être d'un noyau de fer doux enchâssé dans un anneau Gramme.

Sans doute ces comparaisons pêchent encore par plus d'un point ; la science de la matière organisée n'a pas dit son dernier mot ; nous avons tout à découvrir en cette voie et celui qui fixera la nature de ce que nous appelons l'influx nerveux apportera à la médecine et à la physiologie une énorme contribution.

En tout cas, quelles que soient nos hypothèses actuelles, les faits sont là : notre corps est en tout point assimilable à un détecteur de T.S.F. enregistrant les moindres variations du flux électrique solaire.

Des exemples ! J'en ai recueilli des centaines au



Graphique montrant les relations entre l'activité du Soleil, les orages magnétiques sur la Terre et les périodes de guerre ou de paix. (Nous n'avons mentionné à dessein que les guerres intéressant la France.)

cours de mes observations. J'ai passé une partie de ma vie dans le professorat, donc en contact avec des élèves petits et grands. Or, règle générale, les punitions augmentaient les jours de grandes déviations magnétiques. Ainsi, non seulement les taches solaires affolaient la boussole, ce barreau aimanté de nature purement métallique, mais encore l'organisme complexe de l'enfant, sensible à l'excès, et qui, ne trouvant pas chez lui la force de réagir contre cette excitation momentanée, se livrait à ces moments de crises générales à toutes sortes d'excentricités.

Ce n'est là qu'un exemple. Petits ou grands, reconnaissons que l'état électrique de l'atmosphère, lié au Soleil, influe sur notre caractère, sur nos dispositions, sur notre humeur essentiellement variable, et probablement sur la bonne entente dans les ménages ; sur nos réunions parlementaires, sur le vote de nos lois — qui sait encore ? — sur la tension des relations diplomatiques entre les Etats et finalement sur les déclarations de guerre.

Ce que nous admettons, en effet, pour un organisme isolé, doit être vrai à plus forte raison quand il s'agit d'un ensemble ; ici, la volonté individuelle s'atténue, la foule obéit à la loi mathématique des grands nombres.

Aux périodes de minimum d'activité solaire, si mes déductions sont légitimes, doivent correspondre des années de calme et de paix pour les nations.

Jetez un coup d'œil sur le diagramme donnant les variations du Soleil et vous constaterez vous-même à quel point l'Astronomie peut indiquer aux gouver-

nants « conducteurs du char de l'Etat » les paliers, les virages brusques et les tournants dangereux.

Il y a fort longtemps que les astronomes avaient remarqué la coïncidence des minima d'activité solaire avec les années d'exposition universelle. Mais à mesure que cette activité augmente, il faut constater qu'une sorte de fièvre semble prendre possession de l'humanité : les querelles naissent, les guerres éclatent entre les peuples ; on dirait qu'un vent de folie agite en même temps tous les cerveaux.

Allons plus loin encore et ajoutons à ces considérations une remarque que j'ai communiquée à qui voulait l'entendre longtemps avant la guerre, aussi bien dans mes articles que dans mes conférences : plus une nation se rapproche de l'animalité et moins elle est en état de réagir sur les phénomènes de l'instinct ou de l'inconscient. Etudiez l'histoire contemporaine et vous verrez que les deux fois où, en l'espace d'un demi-siècle, les Allemands ont mis le feu à l'Europe, il y eut avec les grandes crises solaires des coïncidences remarquables. La guerre de 1870 est arrivée peu après le grand maximum d'activité solaire, commencée en 1867 ; celle de 1914 n'a pas suivi de très loin les convulsions électriques du Soleil des dernières années. Longtemps avant 1913, après Agadir et le Maroc, les esprits avertis sentaient qu'une guerre était dans l'air.

Si ma thèse est exacte, la science aura démontré une fois de plus à quel niveau d'abaissement moral conduit la *Kultur* allemande.

L'Énigme Martienne

De toutes les planètes du système solaire, Mars, on peut hautement l'affirmer, est de beaucoup la mieux connue. Ce résultat tient à une double prérogative.

A part notre satellite et la petite planete Eros, qui, au point de vue physique, semble, en raison de sa petitesse, inaccessible à nos instruments, Mars est le monde le plus proche de la Terre. A vrai dire, cet avantage paraîtra bien illusoire si nous constatons qu'aux oppositions défavorables la planète reste encore à une distance égale à 100 millions de kilomètres en nombre rond ; mais, par contre, il arrive que Mars et la Terre peuvent se trouver en même temps dans la partie la plus proche de leurs orbites respectives tous les quinze ou dix-sept ans : la distance peut alors descendre au minimum à 56 400 000 kilomètres. Dans les meilleures conditions, le disque de la planète sous-tend un angle de 25", et bien que ce disque ne présente, lors de ces oppositions favorables, qu'une surface 5 000 fois plus petite que celle de la pleine Lune, la quantité de détails que la vision télescopique permet d'y apercevoir est inimaginable de prime abord.

La vraie cause en doit être attribuée à la transparence de l'atmosphère martienne, plus raréfiée que

la nôtre. Il est certain que des habitants placés sur Mars seraient beaucoup moins favorisés vis-à-vis de la Terre. M. Langley, dans une série de recherches bien connues sur l'absorption par l'atmosphère terrestre des rayons lumineux (1), a démontré, en effet, que la surface de notre globe ne reçoit que 60 % des rayons traversant *normalement* les couches atmosphériques. Le sable blanc lui-même diffuse à peine le quart de ces radiations : soit 14 ou 15 % environ. Mais ce nombre, déjà faible, subit encore, en traversant de nouveau l'atmosphère, la même perte qu'en y arrivant la première fois, c'est-à-dire 40 %. Il suit de là qu'un observateur placé sur Mars, à une opposition favorable, ne recevrait du *centre apparent* du disque terrestre que 8 à 9 % des rayons, c'est-à-dire 1/12 seulement de la radiation totale.

Malgré sa faible valeur, ce chiffre de 1/12 n'est pas encore l'obscurité, et nous pourrions espérer découvrir les configurations d'une planète dans ces conditions, si une nouvelle cause n'intervenait encore pour dérober à nos yeux la surface du sol ; cette cause, ainsi que je l'ai établi autrefois à propos de la planète Vénus, c'est le pouvoir diffusif de l'atmosphère (2).

En tenant compte de cette absorption, plus ou moins grande suivant les portions du disque, nous voyons immédiatement qu'elle est minimum au centre apparent d'une planète, là où le rayon visuel

(1) *Ann. Journ. of Sc.*, vol. XXVIII, p. 163.

(2) TH. MOREUX : La rotation de Vénus. *Bull. Soc. Astr. de Fr.*, août 1899.

a le moins d'atmosphère à traverser, et qu'elle croît constamment à mesure que l'on approche du bord, où elle atteint son maximum. Ceci nous explique alors très simplement pourquoi une planète dotée d'une atmosphère faible et transparente ne laisse plus voir de détails dans ses portions voisines du limbe.

Les phénomènes de diffusion produiront un autre résultat, dont on a rarement tenu compte jusqu'ici et sur lequel nous aurons l'occasion de revenir dans la suite : ce sont les colorations propres de l'atmosphère elle-même. Dans une étude *Sur l'origine du bleu du ciel,* M. Sagnac a parfaitement démontré que cette coloration est due à une diffusion sélective des rayons solaires, se produisant surtout dans les couches atmosphériques les plus élevées ; le phénomène est donc, pour ainsi dire, fonction de la raréfaction des gaz de l'air. N'est-ce pas le cas ou jamais d'appliquer cette théorie à l'atmosphère raréfiée de notre voisine ?

Nous nous sommes étendus sur ces faits, car, en Astronomie planétaire, on est trop souvent porté à les oublier, et l'on arrive ainsi à des interprétations erronées des détails constatés et dessinés.

Une transparence aussi extraordinaire de l'atmosphère de Mars a permis depuis longtemps de calculer la durée de rotation de la planète. Cette détermination ayant atteint dans ces dernières années une haute précision, il serait vraiment regrettable de la passer sous silence avant d'aborder l'étude physique de la planète.

A la fin du XVIIe siècle et au commencement du

XVIIIe, J.-D. Cassini, Maraldi et W. Herschel avaient déjà donné, avec une grande approximation, la durée de rotation de Mars, mais n'avaient probablement pas tenu compte de ce fait que Mars perd en apparence une rotation pendant une révolution autour du Soleil, de sorte qu'il serait nécessaire de reprendre leurs travaux pour y appliquer les corrections utiles.

Dans les temps modernes, des astronomes comme Kaiser, Proctor, Marth et Backhuyzen sont tombés d'accord sur le chiffre des secondes, et l'incertitude, à partir de 1864, ne portait déjà plus que sur les centièmes de seconde. M. Denning, l'habile astronome de Bristol, a repris cette étude, et ses propres observations, s'étendant sur une période de trente ans (de 1869 à 1899), nous permettent de considérer les résultats qu'il a publiés comme vraiment définitifs.

La période de rotation qu'il a calculée (1) tombe entre la valeur adoptée par Proctor et celle de Bachuyzen, et on peut la fixer à 24 h. 37 m. 22 s. 70.

I. — LES PREMIERS TRAVAUX SUR LA PLANÈTE MARS

Il serait difficile de comprendre les travaux de ces dernières années si nous les isolions de la série fort intéressante que cette planète a fait naître de-

(1) PROCTOR : *Mont. Not.*, vol. XXIX, p. 37 et 232 ; vol. XXXIII, p. 552. — BACKHUYZEN : *Observatory*, vol. VIII, p. 437. — DENNING : *Observatory*, may 1899, p. 195 et 196.

puis que le fondateur de l'Astronomie physique, William Herschel, entreprit l'étude de Mars.

W. Herschel ne nous a pas laissé de cartes résumant l'ensemble de ses observations ; il s'attacha surtout à confirmer certains points acquis et il serait à peine téméraire de soutenir que l'*Areographie* naquit avec ses travaux. On admit généralement, à la suite de ses études, que Mars offrait des pôles de glace ou de neige, dont les fluctuations, en étendue, suivaient les saisons de la planète. Les trois grandes lignes de la topographie martienne furent alors soupçonnées, et, en 1783, le grand astronome pouvait écrire ces lignes, dont le sens n'a fait que s'affirmer après plus de cent vingt ans de recherches :

« L'analogie entre Mars et la Terre est peut-être de beaucoup la plus grande qui existe dans le système solaire tout entier (1) ».

« Cette circonstance, ajoute Miss Clerke, à laquelle nous empruntons cette belle citation, donne un intérêt tout particulier à l'étude des conditions physiques de notre voisine planétaire extérieure (2) ».

Dans le premier quart du XIXe siècle, les connaissances sur la planète Mars au point de vue physique pouvaient se résumer ainsi :

1° Les saisons martiennes sont analogues aux nôtres, quoique deux fois plus longues, en raison de la durée de révolution de la planète (l'inclinaison

(1) *Philosoph. Trans.*, vol LXXIV, p. 200.

(2) Miss CLERKE, History of Astron. during the XIXth century, p. 274

de l'axe de Mars étant sensiblement égale à celle de l'axe terrestre) ;

2° Les neiges polaires fondent presque entièrement pendant les étés de la planète ; elles n'occupent pas nécessairement les pôles géographiques du globe martien ;

3° Mars offre aussi des taches sombres, bleues ou vertes, qui paraissent varier en étendue et peut-être en position ;

4° Les variétés de teintes sont dues à des différences réelles d'un globe formé de terre et d'eau, les parties rougeâtres ou jaunes étant de véritables continents, les taches et les traînées sombres, des océans ou des détroits.

Cette dernière interprétation, plus ou moins erronée, a survécu à toutes les discussions, et, à l'heure actuelle, toute l'Aréographie, ainsi que nous le verrons, emploie des termes en rapport avec ces idées préconçues.

Avec les travaux de Beer et Madler (1830 à 1841), s'ouvre une ère nouvelle dans la science aréographique (1), une sorte de période de transition, période très intéressante et dont nous aurions tort de ne pas tenir compte. C'est à ces deux astronomes que nous devons le premier essai d'une carte de Mars, sur laquelle on reconnaît, malgré des erreurs

---

(1) Fragments sur les corps célestes du système solaire (Paris, 1840).

Beitrage, etc., Weimar (1841) ; *Astron. Nachr.*, 1831 à 1842.

inévitables, les premiers linéaments de la géographie du globe martien.

Les perfectionnements apportés au télescope par W. Herschel et, plus tard, les corrections que d'habiles opticiens firent subir aux objectifs des lunettes, permirent à l'Astronomie physique de se développer et de prendre une place de plus en plus prépondérante.

Au reste, nous voyons entrer dans la lice, à partir des travaux de Beer et Madler, les plus illustres astronomes. Sir John Herschel, dont les dessins de nébuleuses provoquent encore notre admiration, se préoccupa des configurations de Mars, et c'est à lui que nous devons la première idée d'avoir attribué à la couleur du sol martien cette coloration rougeâtre caractéristique (1).

Avec le Père Secchi (2) et Sir N. Lockyer (3), nous commençons à trouver de très bons dessins, dont les détails sont assez nombreux pour imposer la nécessité d'une nomenclature destinée à l'identification. En 1869, l'astronome Proctor (4) dresse une carte vraiment sérieuse de la planète, d'après les dessins de Dawes ; Kaiser, en 1872, résume aussi de la même manière ses propres observations. En-

---

(1) SMITH : Cel. cycle ; vol. I, p. 148, 1re éd.

(2) Osserv. de Marte. *Mem. de l'Osserv. del Coll. Rom.* (Rome,. 1859).

(3) *Memoirs of the Roy. Astr. Soc.*, t. XXXII, p. 179-190.

(4) Chart of Mars. London, 1869. V. aussi Essays on Astr. (London, 1872).

fin, en 1874, Terby (1) publie, dans son *Aréographie,* un résumé de tous les travaux depuis l'époque de Fontana (1636), qui observait une vingtaine d'années après l'invention de la lunette.

Nous passons sous silence bon nombre d'observateurs, qui tous contribuèrent à donner à nos connaissances sur la planète Mars une physionomie officielle que nous pouvons résumer ainsi :

1° Les grandes configurations de l'Aréographie, tout en restant très identifiables à plusieurs années d'intervalle, présentent des aspects légèrement différents : leurs bords sont soumis à une extension variable comme leur coloration, résultat soupçonné déjà la fin de 1830 ;

2° Les taches sombres sont regardées comme des mers, hypothèse confirmée, croyait-on, par les recherches spectroscopiques d'Huggins en 1867 et de Vogel en 1873 ;

3° On découvre des bandes plus ou moins étroites reliant les *mers* et auxquelles on donne le nom de *fleuves ;*

4° Mars devait avoir une météorologie analogue à la nôtre, quoique moins accentuée.

Si l'on nous permet de qualifier d'*héroïque* la première période de 1610 à 1830, l'appellation de *classique* s'appliquerait parfaitement à celle qui s'étend de 1830 à 1877. C'est alors, en effet, qu'après avoir pris une connaissance générale de l'aspect physique

(1) *Mém. de l'Acad. Roy. des Sciences de Belgique* t. XXXIX, 1875.

de Mars, des géomètres comme MM. Amigues (1), Hennessy (2), Young abordèrent les questions irritantes d'aplatissement polaire, sans pouvoir d'ailleurs arriver à se mettre d'accord. Les mesures plus complètes et plus précises de la parallaxe solaire nous donnèrent une meilleure évaluation de la masse et de la densité de la planète, mais il restait encore nombre de points obscurs. La période qui suivit immédiatement, tout en augmentant nos connaissances générales, n'était pas faite pour résoudre l'énigme martienne, comme on le disait couramment et ainsi que nous allons le voir. Avec la mémorable opposition de 1877, nous entrons dans une véritable période *romantique*.

II. — MARS D'APRÈS LES TRAVAUX RÉCENTS

Le 5 septembre de l'année 1877, Mars s'offrit dans les meilleures conditions d'observation, avec un disque de 25″ de diamètre. M. Shiaparelli, directeur de l'Observatoire de Milan, en profita pour tenter un repérage trigonométrique des principales configurations : 62 points furent notés et, dans sa première carte publiée à la fin de 1877 (3), on put voir un grand nombre de détails qui avaient passé com-

(1) *C. R. Ac. des Sc.*, 1874, t. I, p. 1557.

(2) *C. R. Ac. des Sc.*, 1878, t. II, p. 596, et 1880, t. I, p. 1419.

(3) SCHIAPARELLI, Osservazioni astron. e fisiche sull'asse di rotazione e sulla topogr. d. plan. Marte (Roma, 1878).

plètement inaperçus pour les observateurs précédents. Les *fleuves* y prennent une extension considérable. M. Schiaparelli imagine alors une nomenclature mythologique, où les taches sombres prennent décidément le nom de *mers* et où les continents disparaissent pour faire place à de véritables *îles* plus ou moins grandes, entourées des principaux *fleuves*.

Il y a, dans cette première œuvre de Schiaparelli, un travail sérieux et considérable dont on ne saurait trop le féliciter. Les *fleuves* tracés par lui avaient bien une existence réelle et objective, quoi qu'on en ait dit. Et ce qui le prouva immédiatement fut le fait qu'on put les identifier avec les détails observés à différentes époques par divers astronomes, tels que Dawes, Secchi et Holden. MM. Burton et Dreyer les tracèrent aussi indépendamment, mais partiellement, sur leur carte dressée en 1879 (1).

A cette même époque, Schiaparelli (2) les identifia de nouveau et put repérer 114 points fondamentaux. Mais, à partir de ce moment, une évolution s'opère dans les dessins de cet astronome, et cette évolution est extrêmement importante pour l'avenir de l'Aréographie. Les *fleuves* s'amincissent et deviennent plus droits : l'auteur les appelle des *canaux* ; dans sa troisième carte, publiée après l'opposition de 1881, presque tous les *canaux* sont des lignes

---

(1) Physical observ. of Mars 1879-80, *Scientific. Trans. of the Roy. Dublin Soc.*, 1880.

(2) Schiaparelli : 2e mémoire sur la planète Mars (Rome, 1881).

droites ou des arcs de grands cercles, dont certains, toujours très étroits, atteignent des longueurs de près de 5 000 kilomètres.

La carte d'ensemble, résumant toutes les observations de 1877 à 1888, est plus typique encore (1) : on la croirait construite par un autre dessinateur ; elle ne rappelle en rien celle de 1877. Les tracés curvilignes, à part les lignes de littoral, *sont l'exception ;* tout est tiré au cordeau et à l'équerre ; on dirait un réseau artificiel enserrant la planète, mieux que ne le font nos lignes de chemins de fer, qui se plient aux exigences d'un terrain modelé par l'érosion ou par les mouvements orogéniques du globe.

Ces réflexions, qu'on se garde de le croire, n'ont pas du tout pour but de dénigrer l'œuvre importante du savant astronome italien. Ce n'est pas le moment de discuter l'objectivité des détails aperçus par Schiaparelli ; mais nous avons en vain cherché une explication de cette évolution tout au moins singulière.

L'auteur, mieux que personne, aurait peut-être été à même de la donner. Qu'on n'allègue pas, en la circonstance, une habitude plus grande des observations : ce serait par trop enfantin. Un astronome déjà rompu à la vision télescopique ne perfectionne pas subitement son acuité visuelle ; — on a plutôt vu le contraire se produire quelquefois. — Mais il peut, sous l'influence d'idées préconçues, changer

---

(1) *L'Astronomie,* 1re année, 1882, août, p. 126. V. aussi 3e mémoire, Rome, 1886.

son mode d'interprétation et, par conséquent, sa façon même de rendre les détails.

Quoi qu'il en soit, les résultats des derniers travaux de Schiaparelli laissent loin derrière eux ses premières constatations.

Avec son réseau de traits sombres alignés au cordeau et tracés comme les rues d'une ville américaine, Mars était de beaucoup la plus intéressante de toutes les planètes ; les dernières observations de l'astronome italien, publiées après l'opposition de de 1889, en firent le monde le plus étrange qu'on puisse imaginer :

" En certaines saisons, dit-il, ces canaux se dédoublent ou plutôt se doublent (1)."

A la fin de l'opposition de 1879, Schiaparelli avait déjà observé un cas de ce genre ; à l'opposition suivante (1881-1882), dans l'espace d'un mois, dix-sept exemples analogues se produisirent.

Le mécanisme du phénomène est assez curieux : En général, une ombre légère se forme sur le canal; quelquefois ce sont des taches blanches indécises; puis, le jour suivant, à gauche ou à droite d'une ligne préexistante, sans que rien ne soit changé dans le cours et la position de cette ligne, on voit se produire une autre ligne égale et parallèle à la première, à une distance variant généralement de 6° à 12°, c'est-à-dire de 350 à 700 kilomètres ; il parait même s'en produire de plus proches, mais le télescope n'est pas assez puissant pour permettre de les distinguer avec certitude. Leur teinte parait

(1) Flammarion : La planète Mars, p. 353.

être celle d'un brun-roux assez foncé. Le parralélisme est quelquefois d'une exactitude rigoureuse (1). »

Ainsi, à la place où la veille on avait aperçu un trait sombre, on constate la présence de lignes parallèles à 100 ou 200 kilomètres l'une de l'autre. M. Schiaparelli cite même un cas de dédoublement dans lequel les composantes étaient séparées par un intervalle de 15°, soit 800 kilomètres !

En 1888, M. Schiaparelli revient sur le mécanisme de la gémination. Il constate que l'une des deux bandes n'a pas toujours conservé l'emplacement du canal primitif : " Il peut arriver que ni l'une ni l'autre des deux formations ne coïncide avec l'ancien canal (2) ».

Chose très intéressante à constater, certains canaux se sont toujours montrés rebelles à la gémination.

Le fait que la gémination fut confirmée dans la suite par différents astronomes paraît enlever au phénomène un caractère illusoire. Il faut citer, cependant, un cas assez extraordinaire : pendant l'opposition de 1886, alors que MM. Perrotin et Thollon observaient, à Nice, des canaux nettement doubles, M. Schiaparelli, à Milan, persistait à les voir simples.

A son observatoire de Flagstaff (Arizona), M. Lowell, aux dernières oppositions, entreprit une

---

(1) FLAMMARION : La planète Mars, p. 354.

(2) *Himmel und Erde*, 1888. V. aussi FLAMMARION : La planète Mars, p. 448.

étude attentive de la planète. Il était favorisé par une atmosphère excessivement limpide à 2 200 mètres d'altitude et observait à l'aide d'une lunette de $0^{m},61$ d'ouverture.

Il renchérit, pour ainsi dire, sur les configurations géographiques dessinées par Schiaparelli et couvrit la planète Mars d'un réseau de lignes fines à mailles tellement serrées qu'on dirait le globe martien, construit d'après ses observations, comme recouvert d'une toile d'araignée.

Le nombre des canaux enregistrés à Flagstaff a atteint, ces derniers temps, le chiffre fantastique de 420 (1). Ils sont tous rectilignes, et cette tendance se fait sentir jusque sur le tracé des *mers*.

Suivant plusieurs observateurs et d'après les travaux de Lowell et Douglass, les *canaux* ne seraient pas limités aux portions rougeâtres de la surface, mais s'étendraient indistinctement aux régions sombres. Cette observation, confirmée ces dernières années, est d'une très grande importance, car elle tendrait à prouver que ces régions sombres ne sont pas du tout des masses d'eau.

A l'intersection des canaux, M. Lowell prétend avoir remarqué, à certaines époques, de petites taches rondes, noires, auxquelles il a donné le nom d'*oasis*.

La terminologie adoptée par M. Lowell s'accorde d'ailleurs assez bien avec ses idées.

Aussi étrange que paraisse la théorie de l'artifi-

---

(1) *Bulletin de la Soc. Astr. de Fr.*, passim. Consulter les années 1902-1905.

cialité des canaux, elle a été soutenue par différents astronomes, et M. Lowell la défendit avec acharnement. Reprenant l'hypothèse émise par Pickering, l'astronome de Flagstaff crut que l'eau ne peut exister facilement à l'état libre sur Mars ; les régions sombres seraient dues à la végétation ; des *canaux*, creusés par des Martiens pour s'assurer d'un système savamment combiné d'irrigation, nous ne verrions que les bords recouverts d'une végétation dont le développement suivrait les saisons. Il en serait de même des *oasis*. Dans son grand ouvrage sur *La Planète Mars*, M. Lowell développe ses idées sur ce thème général de l'artificialité des canaux, et tout dans son livre converge vers cette unique pensée.

D'ailleurs, d'après lui, l'apparition des canaux est toujours consécutive à la fonte des neiges polaires. A mesure que l'eau résultant de cette fonte envahit les basses latitudes, les canaux deviennent plus visibles. Il serait trop long de suivre l'auteur dans les développements de cette hypothèse. Nous nous permettrons simplement de faire remarquer que ses constatations sont souvent en contradiction avec celles d'observateurs très sérieux, ce qui affaiblit beaucoup ses conclusions générales.

Nous pouvons retenir de l'ensemble des travaux récents que la coloration des taches sombres montre du vert au printemps et du brun à la fin de l'été. Les variations saisonnières de tons militent donc en faveur de phénomènes d'ordre analogue à notre végétation.

On a beaucoup discuté sur l'objectivité des dé-

tails martiens. Ceci est très compréhensible de la part d'astronomes ou de physiciens n'ayant jamais observé la planète assidument. En fait, certaines configurations n'ont jamais été mises en doute par les observateurs ayant consacré une partie notable de leurs travaux à l'étude attentive de la planète Mars.

Les taches sombres appelées *mers*, les *golfes* tels que la *Baie du Méridien*, les *îles* telles que *Hellas*, *Japygia*, les taches claires, les pôles, etc., sont tellement visibles qu'il serait oiseux de démontrer leur objectivité. Il en est de même des canaux larges, comme le *Boreosyrtis* prolongeant la *Mer du Sablier (Syrtis Major)* ou le *Lacus Niliacus* qui forme une tache abordable à de faibles instruments. Le débat, à l'heure présente, se circonscrit de plus en plus. Existe-t-il sur la planète Mars des canaux fins — ceux qui ont été découverts par Schiaparelli, ceux que M. Lowell et M. Douglass ont multipliés — à la surface des continents ? Voilà véritablement le nœud de la question et l'objet du litige. Certains astronomes demeurent encore sceptiques à cet égard. Au reste, M. Lowell dit fort bien que la visibilité des détails tient plutôt à une atmosphère calme et à l'acuité visuelle de l'observateur qu'à la puissance de l'instrument. Or, d'une part, les astronomes habiles qui, munis de puissantes lunettes, ont vu les canaux fins sont très rares ; c'est ainsi que M. Millochau, avec le grand réfracteur de Meudon, n'a jamais pu les observer (1); d'autre part, il y

(1) *C. R. des Sc.*, 27 octobre 1903, t. II.
A Lick Observatory, M. Barnard, dont on connaît l'acuité visuelle, n'a pas mieux réussi.

aurait là, même de l'avis de M. Lowell, presque une affaire d'équation personnelle, puisque M. Douglas prétend avoir découvert cependant des canaux sur les satellites de Jupiter ? Il faudrait donc admettre que, pour certains yeux, toute surface revêt un caractère canaliforme : ce serait une disposition physiologique dont il y aurait lieu de tenir compte et de rechercher la cause.

On s'est demandé aussi, dans le cas d'une illusion invincible, si la surface de Mars n'offrirait pas un grand nombre de taches plus ou moins foncées que l'œil relierait involontairement par des lignes régulières. Les expériences célèbres de MM. Maunder et Evans, qui consistaient à faire dessiner à des élèves des disques portant la configuration générale de la planète et qu'on plaçait à une grande distance, militeraient en faveur de cette interprétation. Dans la plupart des cas, en effet, les dessinateurs ont relié les golfes ou les amorces des canaux par des lignes fines et droites. L'expérience que j'ai reprise depuis, aussi bien avec mes élèves qu'avec des dessinateurs ou des peintres de talent a donné des résultats identiques (1).

Les astronomes qui voient et dessinent les canaux

(1) J'ai eu, depuis lors, l'occasion de faire la connaissance d'un professeur d'architecture dans une des grandes Universités des États-Unis et qui avait été en relation avec Lowell. Les croquis de ce dernier, étonnants et invraisemblables, s'expliquent, paraît-il, par une méthode bien américaine d'enseigner le dessin : on abuse des lignes droites et les arcs de cercle y sont remplacés par de nombreuses tangentes.

sous cette forme, en les multipliant, refusent d'admettre toute analogie entre les aspects de dessins d'objets terrestres et la surface martienne.

M. Maunder, à la suite d'une critique acerbe de ses vues par M. Story, a répondu dans un article de *Knowledge*. Il ne sera pas sans intérêt pour le lecteur d'avoir sous les yeux les passages principaux de cette remarquable réponse.

« Voyons, dit M. Maunder (1), en quel point précis les vues de M. Lowell diffèrent des miennes. Ce n'est pas dans les grandes lignes de la topographie martienne. M. Lowell les voit et les dessine substantiellement comme je les voyais et les dessinais en 1877, et comme Beer et Mädler les dessinaient en 1830. Ce n'est pas au point de vue de l'aspect des *canaux* ; j'ai observé et dessiné des *canaux* dès 1877, et, bien que M. Lowell en ait vu et dessiné beaucoup plus que moi, ceux que j'ai vus étaient substantiellement de même caractère que les siens ; et, en discutant cette question, j'ai toujours eu grand soin, soit en écrivant, soit en parlant, de toujours faire remarquer que je ne mettais nullement en doute ni la fidélité ni l'habileté d'aucun des observateurs de Mars. M. Evans et moi-même avons dit autrefois « Il ne serait vraiment pas correct d'affirmer que les nombreux observateurs ayant dessiné des *canaux* sur Mars pendant les vingt-cinq dernières années

(1) Les canaux de Mars. Réponse à M. Story, par E. W. Maunder. *Knowledge*, mai 1904, p. 87 et suiv. L'article auquel l'auteur fait allusion avait été publié dans la même revue en mars 1904.

aient dessiné ce qu'ils ne voyaient pas. Au contraire, ils ont reproduit et dessiné fidèlement ce qu'ils voyaient ". Jamais je n'ai ni affirmé ni supposé " que les canaux sont vus comme de très faibles lignes, si faibles que leur existence est douteuse, même pour des expérimentateurs habiles ". Je sais le contraire par ma propre expérience.

" Nous sommes d'accord sur un autre point. M. Lowell est absolument convaincu, et en ceci je suis de son avis, qu'il n'est pas possible qu'un réseau réel, aussi géométrique que celui qu'il représente, puisse être le résultat de causes purement physiques. M. Story connaît certainement le livre très intéressant que M. Lowell a publié sur Mars en novembre 1895 et a lu les pages 148-154.

" Mais ici commencent nos divergences d'opinion. M. Lowell attribue ce réseau au travail d'êtres intelligents qui ont tracé sur la planète ces " grossiers polygones ", pour employer l'expression de Schiaparelli.

" Ceci est, notons-le, du domaine de l'hypothèse et non de l'observation ; et cette hypothèse implique la supposition que, si Mars était beaucoup plus près de nous ou si nos puissances visuelles étaient excessivement augmentées, ces grossiers polygones subsisteraient et ne se résoudraient jamais, sous une vision meilleure, en détails que nous pourrions raisonnablement attribuer aux seules forces de la Nature.

" Mon hypothèse est toute différente ; cet aspect antinaturel peut être dû à l'imperfection de notre vision. Je me base sur des faits bien connus tou-

chant la théorie de la vision et la structure de l'œil, et l'œil est notre instrument nécessaire pour l'observation. Nous n'avons pas droit d'avoir recours à l'inconnu et à l'artificiel avant d'avoir épuisé les méthodes connues et naturelles pour expliquer un phénomène. Mon hypothèse est basée sur les effets observés de causes connues ; l'hypothèse de M. Lowell est *une incursion dans le domaine des fées.* »

Le reste de l'argumentation de M. Maunder peut se résumer ainsi : c'est un fait d'expérience que, pour être perçue par l'œil, une tache noire se détachant sur fond brillant doit avoir au moins 34 secondes de diamètre. Quant à la forme, elle ne peut être reconnue que dans le cas où la tache dépasse notablement cette dimension ; autrement l'objet nous apparaîtra circulaire.

S'agit-il de lignes fines ? Leur longueur compense alors jusqu'à un certain point leur largeur. Si cette dernière est au-dessus d'une seconde, toute la ligne cesse d'être visible ; là encore, pour qu'il y ait perception nette de la forme, il faut que la longueur soit notablement plus grande.

La conclusion logique est que, à partir d'une certaine limite, tous les objets, *quelle que soit leur forme réelle,* nous apparaîtront nécessairement comme des taches rondes ou des lignes fines régulières. Il s'agit ici du cas de visibilité à l'œil nu, et l'on doit ajouter qu'aucune éducation ne sera susceptible d'améliorer notre vision, puisque la limite du diamètre apparent est liée à la grandeur des bâtonnets et des cônes de la rétine.

En abordant la vision télescopique, le problème devient plus complexe. Chaque instrument a une limite de définition théorique qui, pratiquement, n'est jamais atteinte. Il est vrai que le principe reste le même, mais nous savons que le grossissement réel diffère beaucoup du grossissement théorique. C'est ainsi qu'un oculaire amplifiant 300 fois ne nous fait jamais voir les détails que nous ne manquerions pas d'apercevoir si l'objet était 300 fois plus rapproché de notre œil. Le raisonnement vaut *a fortiori* pour des grossissements plus considérables, qui, pour cette raison, s'emploient plus rarement.

Lors donc que M. Lowell dessine des *oasis* sous forme de taches rondes et qu'il représente les *canaux* par des lignes fines et régulières, si, arguant de sa bonne foi, nous ne contestons pas la subjectivité du phénomène, nous avons certainement le droit de douter de son objectivité. Les premiers observateurs de Mars ont aperçu aussi des taches rondes, et, s'ils nous avaient affirmé que ces oasis avaient réellement cette forme, les faits leur infligeraient aujourd'hui le plus cruel démenti. Depuis Beer et Mädler, les instruments se sont perfectionnés, les corrections de nos instruments sont meilleures. Or, les soixante oasis de M. Lowell semblent avoir le même caractère que les taches observées par Beer (1) et Mädler.

« Si, dans soixante-dix ans, continue M. Maunder, il s'est produit un développement télescopique

(1) *Knowledge*, même article.

égal à celui des soixante-dix dernières années, l'uniformité actuelle des oasis de Lowell persistera-t-elle, ou deviendra-t-elle ce qu'est devenue la ressemblance des taches observées par Beer et Mädler ? Nous n'avons pas même besoin d'attendre soixante-dix ans pour le savoir. Jusqu'à ce moment même, j'ai soigneusement évité toute critique des dessins de n'importe quel observateur de Mars. J'ai souvent répété que je les acceptais comme étant des représentations à la fois fidèles et habiles de ce que voyaient les observateurs. Mais il est nécessaire de faire remarquer ici que l'exprême simplicité de type et des canaux et des oasis, tels que les montre M. Lowell, n'est pas confirmée par les meilleurs observateurs. Dans le dernier numéro de *Knowledge*, M. Denning écrivait (p. 67) : " Il y a, en réalité, beaucoup de différences dans les taches en forme de canaux ; certaines sont des ombres très larges et diffuses, tandis que d'autres sont des lignes étroites et délicates ». LeRévérend T. E. Philips, tout dernièrement, a vivement insisté sur le même fait, et je pourrais citer bien d'autres témoignages. Il est certain que les meilleurs observateurs ne s'accordent pas simplement à dire que les canaux diffèrent très largement dans leurs caractéristiques, mais ils s'accordent aussi absolument dans les caractéristiques qu'ils assignent à des canaux en particulier. En ce qui concerne les observations de M. Lowell, je ne puis évidemment parler que de celles qu'il a publiées; mais, pour celles-là, il est certain qu'il ne réussit pas à montrer cette grande variation de caractère qui existe entre certains canaux sur lesquels la plupart

des autres observateurs s'accordent pleinement. Ceci me semble une preuve certaine (autant que ses dessins publiés le permettent), non de conditions supérieures et d'habileté très grande du côté de M. Lowell, mais d'une infériorité très marquée sous ces deux points de vue. Qu'il faille attribuer le fait à l'emplacement de son observatoire ou à la perfection de ses instruments, ou à son habileté personnelle dans l'observation ou plus probablement dans le dessin, peu importe. En dépit de la multiplicité de ses observations et de la persévérance — qu'on ne saurait trop louer et trop reconnaître — avec laquelle il a observé Mars, en saison et hors de saison, le fait reste qu'il n'a pas réussi à enregistrer des différences concordant avec ce qu'ont trouvé d'autres observateurs de premier ordre. Il n'a pas réussi surtout à reconnaître ce que Denning et Schiaparelli avaient reconnu dès 1884, que la plupart des canaux étaient très loin d'être des lignes droites de largeur et de teinte uniformes, mais montraient des gradations de ton évidentes, et des irrégularités occasionnant çà et là des solutions de continuité et des condensations. Des milliers de dessins de Mars que j'ai examinés, ceux qui correspondent le plus parfaitement aux dessins de Lowell ont été faits par un jeune novice et dans une station idéale sous aucun rapport, en employant une petite lunette qu'il avait construite lui-même.

« On a dit, en faveur de la réalité des canaux, qu'on les voyait avec beaucoup de netteté ou très souvent. L'argument est basé sur une ignorance absolue de l'apparition des canaux fictifs observés dans

les expériences de M. Evans et les miennes. Je me suis moi-même laissé prendre complètement par un petit dessin sur lequel étaient représentés *Syrtis Major* et *Sinus Sabæus*. Ce que je regardais comme le détail de beaucoup le plus important était une ligne droite, étroite, intensément noire, correspondant au Phison. Pourtant cette impression étonnamment vive était due en réalité à l'intégration de deux ou trois faibles lignes, irrégulières, brisées, recourbées en serpentin, et d'une demi-douzaine de points absolument invisibles. Si j'avais regardé ce dessin un millier de fois, ou si un millier d'autres observateurs l'avaient examiné dans les mêmes conditions de distance, ils n'auraient vu que ce que j'ai vu : une ligne noire droite aussi nette que si elle eût été faite par l'instrument d'un graveur. »

III. — La Gémination

Cette discussion serrée des vues de M. Lowell semble laisser peu de place à l'examen du fait de la gémination. Alors qu'il nous est difficile de nous prononcer sur la réalité des canaux fins, comment pourrions-nous aborder les problèmes autrement complexes du dédoublement de ces canaux ? Nous ne saurions toutefois nous dispenser de dire un mot des hypothèses ayant la prétention d'expliquer ce mystérieux phénomène, car les théories de la gémination ont pris une place prépondérante en ces dernières années dans la littérature aréographique.

Laissons de côté celles qui, basées sur l'artificialité, attribuent le dédoublement aux prétendus habi-

tants de la planète, canaux d'irrigation, écluses, digues, etc... C'est le cas de répéter ici les paroles de M. Maünder : " Nous n'avons pas le droit d'avoir recours à l'artificiel et à l'inconnu avant d'avoir épuisé les méthodes naturelles pour expliquer un phénomène. "

L'hypothèse qui, dans le monde scientifique, sembla jouir au début de la plus grande faveur, est celle qu'a proposée M. Stanislas Meunier. Elle s'appuie sur une expérience facile à réaliser : Si l'on enveloppe d'une mousseline un globe poli sur lequel on a préalablement tracé des lignes sombres, ces canaux, sous certains éclairements, apparaissent nettement doubles. Sur Mars, la brume s'étendant au-dessus des continents remplacerait la mousseline. Malheureusement, tout ingénieuse qu'elle soit, cette théorie est en désaccord avec les faits les mieux constatés. C'est le cas de dire, avec le directeur de la Section de Mars à la *British astronomical Association* : " S'il y avait deux lignes d'égale intensité (les deux composantes d'un canal double), nous voudrions savoir comment tel expérimentateur n'en voit qu'une, tandis que tel autre les voit toutes les deux ! En 1886, M. Schiaparelli voyait les canaux Euphrates, Orontes, Phison et Jamuna toujours simples, tandis qu'à Nice, MM. Perrotin et Thollon *les voyaient nettement doubles* (1). "

Nous ajouterons qu'en soumettant cette hypothèse au calcul, ce que l'on aurait dû faire tout d'abord, on arrive immédiatement à la conclusion qu'elle est

---

(1) TH. MOREUX : Vues nouvelles sur la planète Mars. *Revue des Quest. scientif.*, octobre 1898.

inadmissible. Aux oppositions périhéliques, par exemples, si l'on adopte la théorie de M. Stanislas Meunier, la ligne parasite formée par l'image réfléchie d'un canal devrait se rapprocher *dans une même nuit* de l'image réelle, l'écartement étant maximum à 0,707 du centre (le rayon de la planète étant 1) pour devenir nul au méridien central et repasser ensuite par les mêmes valeurs. Dans les conditions les plus favorables pour la théorie dont nous parlons, alors que Mars présente une forme gibbeuse, l'écartement des deux lignes ne saurait avoir lieu au centre ainsi qu'on a voulu le dire, mais à une distance de sin 21° = 0,358. Or, jamais astronome n'a constaté de pareils faits.

La seconde théorie en date peut se formuler ainsi : Toute ligne fine aperçue à la distance de la vision non distincte nous apparaît double. Il y a là un problème physiologique intéressant, dont j'ai donné la solution autrefois (1). Ces apparences tiennent à une imperfection de notre cristallin ; elles se produisent nécessairement avec la vision télescopique, si l'image d'une ligne fine cesse d'être au point. Or, il paraît difficile au premier abord d'admettre que des observavateurs habiles ne sachent pas manier leurs instruments ; mais, d'autre part, tous ceux qui ont employé de puissantes lunettes savent combien sont fréquentes les variations de distance focale dans un intervalle de temps très court. Cela tient aux changements de température et aux courants atmosphéri-

(1) Th. Moreux : *Rev. des Quest. scientif.*, même article.

ques amenant des variations de l'indice de réfraction de l'air.

Dans les lunettes à grandes distances focales, la mise au point change à chaque instant. Si donc une ligne fine apparait très nette à un moment donné, l'instant d'après elle peut se montrer aussi nettement double.

Cette théorie, que j'ai défendue autrefois, me parait cependant inapplicable au dédoublement des canaux, depuis que j'ai pu observer Mars, d'une façon assidue. Elle s'accorde peu, d'ailleurs, avec le caractère permanent des géminations, telles que les a décrites Schiaparelli.

La plupart du temps, en effet, les canaux s'élargissent avant de se dédoubler, et cette forme peut persister plusieurs jours de suite. Puis le milieu du canal, ainsi que nous l'avons déjà dit, prend une teinte claire, et finalement les deux composantes apparaissent. Plusieurs observateurs, et des plus sérieux, admettent le fait et en donnent l'explication suivante (1) :

« La gémination des canaux de Mars, dit le capitaine Molesworth, semble être réelle, et non illusoire ; elle est due, à mon avis, et dans presque tous les cas, à l'existence et à la visibilité variable de deux canaux distincts presque parallèles : tantôt un canal, tantôt deux canaux devenant visibles. Ceci expliquerait l'anomalie apparente d'un canal vu simple et double en même temps par deux observateurs. Quand

(1) *Report of the Bristish Astr. Association* ; mars, année 1903, p. 89.

on voit les deux canaux, l'espace entre eux est généralement légèrement ombré, et cette traînée ombrée donne souvent l'impression d'un canal simple, large, diffus, quand on ne voit pas les bords plus sombres. "

Enfin, la théorie du contraste expliquerait plus d'un cas. Imaginée pour justifier l'apparition des canaux faibles, elle peut s'appliquer très sûrement à la gémination.

Voici en quoi elle consiste : Lorsque deux teintes d'intensité ou de couleur différentes sont juxtaposées, l'œil saisit surtout le lieu de démarcation des deux teintes et nous avons une tendance à tracer la limite commune sous forme de ligne. Cette illusion est tellement naturelle que c'est sur ce principe que repose notre science du dessin. En fait, les lignes n'existent pas dans la Nature, et le peintre, lorsqu'il ne se sert pas du pinceau, est forcé d'interpréter par des traits la forme des objets. Tout le monde a remarqué que, dans les lavis procédant par teintes de plus en plus foncées, le relief n'est jamais obtenu entièrement si le dessin est vu de trop près ; les différentes teintes s'exagèrent sur leurs bords et donnent lieu à de véritables lignes plus foncées aux endroits où commence une surface moins sombre. Cette théorie, qui fut énoncée par Green en 1879, fut confirmée en 1898 par différents astronomes, et entre autres par le Révérend P. H. Kempthorne. A l'opposition de 1900-1901, le capitaine Molesworth, qui avait étudié les canaux à ce point de vue, écrivait ceci (1) : " La conclusion de mes observations est que,

(1) Même rapport, p. 90

dans la grande majorité des cas, les canaux, surtout s'ils sont faibles, ne sont autres que les bords légèrement plus sombres de surfaces très faiblement teintées. Dans certains cas, on n'aperçoit aucun canal, on distingue seulement le simple contour d'une surface ombrée. Quelquefois le bord du canal est parfaitement net et défini du côté de la surface claire, l'autre bord se dégradant peu à peu dans la portion ombrée. »

Si maintenant nous imaginons une large surface sombre sur un point brillant, la même théorie rendra compte d'une double traînée aux deux bords. Bien que cette hypothèse n'ait jamais été explicitement énoncée, elle nous paraît aussi logique que celle dont elle dérive, et nous avons de bonnes raisons de croire qu'une telle disposition sur Mars a donné lieu bien souvent à de prétendus phénomènes de dédoublement.

La conclusion de tous les travaux que nous venons d'analyser s'impose maintenant avec une inéluctable nécessité.

Nous ne savons presque rien de la planète Mars. Si les configurations qui paraissent stables nous sont à peu près connues dans les grandes lignes, nous ne saurions nous prévaloir de leur connaissance générale pour en inférer leur forme réelle. Mars est trop éloigné et nos instruments trop peu perfectionnés, les causes d'illusion trop nombreuses pour que nous soyons assurés, lorsque nous avons une carte de Mars sous les yeux, de posséder la topographie véritable de la planète. Aux partisans de l'opinion contraire, je me contenterai de répondre par un exem-

ple. Personne ne conteste que l'aspect télescopique de la Lune, comparé à un dessin de notre satellite fait à l'œil nu, change du tout au tout. Un grossissement de 75 fois appliqué à la planète Mars nous fournirait précisément un disque égal en diamètre à celui de la Lune vue à l'œil nu. Comment qualifier le raisonnement d'un observateur qui prétendrait avoir ainsi une idée adéquate d'une planète vue dans ces conditions ? Le même argument subsistera dans toute sa force si nous augmentons de dix fois le pouvoir de nos instruments. Peut-être connaîtrons-nous un peu mieux le monde offert à nos regards, mais jamais, tant que nos moyens optiques ne recevront d'autres perfectionnements, nous ne pourrons nous flatter d'avoir sous les yeux une carte réelle de la planète.

Le résultat serait-il atteint que nous resterions encore devant une mappemonde martienne dans la situation d'un ingénieur contemplant le plan d'une terre inconnue, assez complet sans doute, mais dont il ignorerait tout jusqu'aux teintes conventionnelles.

Est-ce à dire qu'il nous faille abandonner la partie ? Nous ne le croyons pas, mais nous devons nous attacher de plus en plus aux observations de détails. Il nous faut réunir de nombreux documents, dessiner sans idées préconçues ce qui s'offre à nos yeux, mais nous bien garder d'objectiver nos impressions éminemment subjectives.

Les hypothèses nous sont aussi permises, à condition toutefois que nous sachions les regarder comme telles.

Or, on oublie trop souvent le rôle de l'hypothèse dans la science, et les propriétés qu'elle doit possé-

der ; en général, elle doit surtout nous servir à coordonner les faits. Du jour où elle cesse d'être en accord avec des phénomènes certainement constatés, son rôle prend fin ; nous devons en imaginer une autre. Il faut aussi que l'hypothèse soit vérifiable par l'expérience et l'observation. Cette dernière qualité fait souvent défaut aux hypothèses qualifiées de scientifiques, et nous allons en donner un exemple emprunté au sujet qui nous occupe.

Divers astronomes, et des plus illustres, ont prétendu que la planète Mars ne présente pas, comme la Terre et la Lune, un relief très accentué. L'érosion aurait accompli son œuvre depuis longtemps sur notre voisine, et aucune montagne importante n'accidenterait le sol martien. Or, de ce que personne n'a aperçu de traces de montagnes, peut-on logiquement conclure qu'il n'en existe pas ? Raisonnons par analogie. Le relief de la Lune ne nous apparaît que dans certaines conditions d'éclairement faciles à préciser : il est fonction de la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon lunaire. A mesure que l'obliquité des rayons solaires diminue, les ombres portées disparaissent et, au moment de la pleine Lune, tout nous semble nivelé : il ne reste que les teintes différentes du sol. Or, le disque de Mars, lorsqu'il nous présente sa plus grande phase, nous apparaît dans les mêmes conditions que le disque de notre satellite trois jours avant la pleine Lune. Imaginons qu'une atmosphère assez dense nous cache par diffusion les faibles excroissances du terminateur lunaire, et voilà les astronomes, mêmes armés des plus forts grossissements, réduits à discuter la question du relief sur la Lune.

IV. — LA PLANÈTE MARS D'APRÈS LES TRAVAUX FAITS A L'OBSERVATOIRE DE BOURGES.

§ 1. — *Considérations générales.*

Les personnes n'ayant pas l'habitude des observations se méprennent ordinairement sur la façon dont l'astronome étudie les détails planétaires ; on s'imagine aisément, lorsqu'on a sous les yeux un dessin de la planète Mars, que ce monde lointain s'est présenté ainsi dans une vision télescopique nette et, pour ainsi dire, instantanée. C'est une erreur, bien excusable sans doute, mais contre laquelle je ne saurais trop mettre en garde le lecteur.

Tous nos dessins planétaires ne sont qu'une résultante d'observations et d'impressions successives, ressenties par notre rétine dans un temps plus ou moins long. Un œil, même entraîné, ne saisit pas d'un seul coup tous les détails visibles. Certains, sans doute, lui apparaissent si nettement que, pour la planète Mars en particulier, l'identification est le plus souvent facile ; mais, après avoir tracé les grandes lignes, celles pour lesquelles l'hésitation ne saurait exister, l'astronome est obligé de concentrer toute son attention sur les ombres légères, sur les lignes qui sont à la limite de la visibilité. Ceci, en outre, ne se fait pas sans difficultés. L'atmosphère est continuellement agitée, nos yeux se fatiguent très vite, si bien qu'un détail, à peine aperçu, disparaît aussitôt, et il faut une grande persévérance pour

continuer le travail dans ces conditions. Parfois, la définition est tellement mauvaise qu'on aurait tort de se fier aux détails aperçus dans de tels moments. Dans la série de dessins que je présente aujourd'hui, j'ai exclu systématiquement tous ceux dont la définition n'était pas parfaite.

Dès les premières études de la planète pendant une opposition récente, Mars m'est apparu, non comme un monde sillonné de traits sombres et droits, mais comme un globe nuancé de tons plus ou moins colorés et foncés. Seules, les *mers* étaient assez bien délimitées ; quant aux *canaux*, ils étaient larges, diffus, très dégradés sur les bords ; leur couleur dominante était le vert-mousse assez foncé. De tels aspects sont impossibles à rendre avec le crayon ; il faut se servir du pinceau ; le flou du pastel rendrait mieux encore nos impressions.

Cette vision est loin de m'être particulière ; les dessins de Secchi, de Lockyer, de Molesworth, du Rev. Phillips, de Denning, pour ne citer que quelques noms, montrent que, pour eux, le disque de la planète se présente souvent dans les mêmes conditions (1).

---

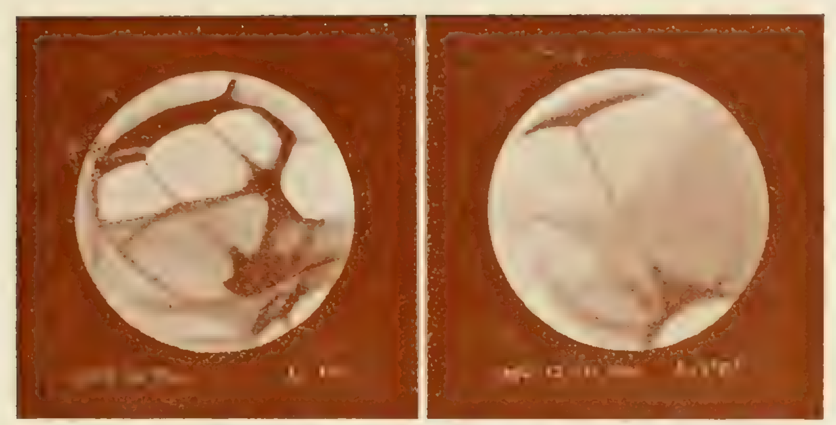
(1) V. ces dessins dans *La planète Mars* de Flammarion. Au moment où cet article était prêt pour l'impression, le Rev. Philipps a publié, dans le *Journ. de la British Astr. Ass.* (n° de juillet 1909, p. 347), quelques-uns de ses dessins pris à la dernière opposition. Certains d'entre eux sont tellement semblables aux miens qu'on les dirait une copie de ceux qui ont été publiés par moi-même dans cet article et dans le numéro de juillet du *Bulletin de la Soc. Astr. de France*.

Toutefois, à partir de la première semaine du mois de mai, certains canaux ont eu tendance à devenir plus *linéaires*. On peut comparer, sous ce rapport, les dessins du 3 avril et du 9 mai. Le *Trivium Charontis*, qui était primitivement une large tache dégradée vert-foncé, est beaucoup moins étendu ; les canaux qui y aboutissent deviennent étroits et plus nombreux. En juin, la partie sud du *Syrtis Major* est plus foncée, et les détails s'y accusent avec une netteté admirable.

D'une façon générale, le disque de la planète a présenté de *larges teintes brillantes* et foncées, et les canaux linéaires certains ont été l'exception.

Cette manière de voir ou d'interpréter n'est pas partagée par M. Lowell, et j'ai pensé qu'il y aurait intérêt à mettre sous les yeux du lecteur deux dessins de la planète, pris à peu près à la même longitude, l'un extrait de mon agenda et sans aucune retouche, l'autre dû à M. Lowell.

Bien que les grandes lignes soient facilement identifiables, il demeure évident que nous ne voyons et ne dessinons de la même façon. Je m'attends à ce que M. Lowell me réponde que, l'instrument de Flagstaff étant très puissant, et l'atmosphère bien meilleure qu'en France, il peut voir ce qui échappe aux autres. Je n'en disconviendrai pas ; mais alors ses dessins, s'ils sont tracés correctement, devraient, vus à une certaine distance, ressembler à ceux des autres observateurs et présenter de loin les teintes claires et sombres que nous constatons dans nos lunettes de moyenne puissance. Or, les dessins de cet astronome ne montrent jamais rien de semblable,



Deux dessins de la planète Mars représentant les mêmes régions ; celui de droite a été pris par jour de brouillard.

En haut à gauche : Mars, d'après MOREUX
En haut à droite : Mars, d'après LOWELL
En bas : Photographie vers la même époque.

à quelque distance qu'on les regarde : ce sont toujours des lignes fines, doubles parfois, presque toujours droites ; les larges demi-tons en sont exclus. L'*Acidalium Mare* m'a paru d'une forme autrement compliquée que celle dessinée par M. Lowell et n'a jamais été limitée à son angle gauche par deux axes rectangulaires.

Son instrument, en exagérant certains détails, simplifierait-il les autres ?

M. Molesworth est du même avis que moi lorsqu'il écrit ces lignes (1) : " Quelques rares canaux, très peu nombreux, sont nets et linéaires. Ils sont en grande majorité diffus avec tous les grossissements, même quand on les voit avec une définition parfaite et dans les circonstances les plus favorables. Je ne puis regarder l'aspect délicat en forme de toile d'araignée montré sur les dessins de Lowell comme rendant vraiment l'aspect réel des canaux. "

C'est le cas de rappeler, à ce propos, les photographies obtenues au foyer du grand réfracteur de Flagstaff. L'essai tenté par M. Lowell n'est pas absolument nouveau. La première photographie de Mars fut prise par Gould, en 1879, à Cordoba. En 1890, M. W. H. Pickering obtint aussi une bonne série au Mont Wilson (Californie). Sur l'un des clichés, la calotte polaire était très apparente, une surface terne l'entourait ; mais, à la place de cette dernière, le lendemain, on apercevait très nettement une surface brillant d'un grand éclat et continuant la ca-

(1) *Report of the Brit. Astr. Association*, juin 1903, p. 89.

lotte polaire enregistrée la veille. On en conclut un peu vite, peut-être, qu'une chute de neige avait envahi brusquement le territoire adjacent.

Quoi qu'il en soit, ces premiers essais étaient de nature à montrer le parti qu'on pouvait tirer à l'avenir d'un procédé qui avait déjà donné de sérieux résultats dans les autres branches de la science astronomique.

La question fut reprise à l'opposition de 1905 par M. Lampland, de l'Observatoire de Flagstaff. Sur les clichés directs, le disque de la planète ne dépasse pas 2 millimètres en diamètre ; c'est bien peu. Mais telles quelles, ces photographies sont intéressantes.

Nous avons eu entre les mains des agrandissements de trois fois environ des clichés directs. On y reconnaît de prime abord les configurations générales de la planète : les *mers* sombres y sont nettement accusées, ainsi que les larges *canaux*. Quant aux détails faibles, aperçus à l'aide de grands instruments, il ne faut pas songer même à les deviner. C'est pourtant en cela que résiderait tout l'intérêt présenté par les photographies, puisque, à l'heure actuelle, le débat se limite de plus en plus à l'existence réelle des canaux fins.

Aussi peu détaillées qu'elles soient, les photographies de M. Lampland ne laissent pas, cependant, de nous donner une précieuse indication. Elles offrent un aspect se rapprochant bien plus des dessins de différents observateurs que de ceux de M. Lowell. On en pourra juger par la reproduction aussi exacte que possible que nous donnons de l'une d'elles. Les

demi-teintes y sont parfaitement observées ; on a la sensation, en les voyant, d'un globe nuancé de tons très différents, et elles ne rappellent en rien les disques plats sur lesquels ont été dessinées des *toiles d'araignée*, suivant le mot de M. Molesworth.

M. Lowell prétend avoir vu un canal double ainsi qu'un lac : *Ismenius Lacus*. M. Crommelin, auquel M. Lowell a montré ses clichés, n'y a rien pu découvrir de semblable. N'oublions pas aussi que, de l'aveu de M. Lowell, on a dû employer des plaques à gros grains pour réduire suffisamment le temps de pose.

Après cette longue discussion, je reviens à mes propres observations. Je laisserai de côté les détails, pour faire ressortir surtout les conclusions générales.

§ 2. — *Les Mers*

Au début de l'opposition, toutes les surfaces appelées *mers* sont apparues avec une teinte uniforme bleu-vert, à l'exception de deux ou trois qui ont présenté plusieurs fois des tons bleu-violet très caractéristiques, et qui sont dus très probablement à l'atmosphère. Nous reviendrons bientôt sur ce point important.

La teinte générale bleu-vert m'a semblé varier avec le diamètre de l'objectif employé ; elle avait une tendance à tirer sur le bleu indigo avec les faibles ouvertures. Le bord des *mers* a toujours paru très délimité dans les bonnes conditions atmosphériques terrestres et martiennes. Mais, à mesure que l'opposition avançait, le ton général passa insensiblement

au vert-brun, puis au brun-chocolat. Le *Syrtis Major* (la *mer du Sablier*) en offrit un exemple très frappant. J'ai dit le *ton général*, car, en étudiant attentivement la surface des *mers*, on voyait que leur teinte n'était pas la même dans leurs diverses parties, et paraissait obtenue par des *touches* différentes, variant selon toute une gamme de colorations, allant du bleu-foncé au vert et même au brun-rouge. On aurait dit d'une marquetterie irrégulière et compliquée aux compartiments colorées de façon diverse. La forme de toutes ces surfaces adjacentes m'a constamment échappé. Je suis porté à croire que, dans les grands instruments, cette forme est mieux saisissable ; mais les grossissements employés dans ces occasions atténuent bien certainement les contrastes, et l'œil ne saisit que les limites des tons. C'est probablement l'explication du réseau compliqué aperçu et dessiné par M. Lowell.

Le passage du vert au brun-chocolat n'a pas été simultané pour toutes les parties de la planète : il y a bien une variation saisonnière, mais les changements, loin de présenter un caractère systématique, ne sont pas consécutifs à la fonte des neiges polaires et ne s'opèrent pas régulièrement suivant les latitudes.

J'ai aperçu aussi très souvent des traînées blanches dans les mers ; l'*Œnotria* et le *Solis Pons* en sont de bons exemples. La *baie du Méridien (Fastigium Aryn)* ne m'a jamais paru aussi fourchue qu'on la représente habituellement ; il y avait là un golfe très marqué d'une couleur foncée, où prenaient naissance deux canaux bien visibles.

§ 3. — *Les Canaux et les Lacs*

En étudiant la planète Mars au commencement d'avril, j'ai été frappé par ce fait que bien peu de *canaux* étaient nettement indiqués ; il fallait rester longtemps l'œil au télescope pour apercevoir quelques-uns d'entre eux sous forme de lignes étroites. Le mot *canal* est d'ailleurs aussi mal choisi que possible, car on l'applique à des objets fort différents d'aspects. Certains *canaux* pourraient parfaitement passer pour des *mers*, tellement est considérable leur étendue en largeur. Ainsi le *Ceraunius* a occupé pendant plusieurs semaines un espace de 10 degrés en longitude : c'était une tache presque aussi importante, quoique moins foncée, que la *Mare Acidalium*, et dont les deux bords non parallèles semblaient un peu plus verts que la région médiane. Le *Nilokeras* offrit aussi une très grande largeur, se confondant à l'une de ses extrémités avec le *Lunæ Lacus*. Parfois l'intervalle entre deux canaux aurait pu laisser croire à l'existence d'une véritable *mer* ; c'est ainsi que toute la partie comprise entre *Uranius* et *Nilus* était plus sombre que les continents extérieurement adjacents. La seule différence appréciable entre les *mers* et les *canaux* consisterait plutôt dans leurs bords, qui, toujours nettement délimités pour les mers, sont très estompés dans le cas d'un canal. En outre, cet estompage varie continuellement pendant le cours d'une même opposition. Le *Trivium Charontis* était, au début, une large surface vert-mousse, s'étendant dans toutes les directions et

empiétant sur les différents canaux qui y aboutissent. Il fallait même parfois beaucoup de bonne volonté pour suivre la direction d'un canal à travers une région sombre. D'autres canaux, par contre, se détachaient sur un fond brillant rouge-jaunâtre, semblant être formés de taches alternativement grandes et petites, rappelant des nœuds foncés distribués irrégulièrement dans une direction déterminée. Parmi ces derniers, quelques-uns pouvaient à peine être distingués. Toute la région nord de *Thaumasia* était dans ce cas. A la fin de l'opposition, beaucoup de *canaux*, ainsi que je l'ai déjà fait remarquer, avaient acquis une netteté extraordinaire ; par contre, certains autres étaient tellement estompés qu'ils avaient presque disparu. Là encore aucune variation systématique suivant les latitudes.

Pendant trois nuits consécutives, l'*Elysium* a présenté un *canal* (trait sombre) qui n'est marqué sur aucune carte et auquel j'ai donné le nom de *Galaxias III*. Une autre nuit, j'ai aperçu un trait curviligne irrégulier assez sombre reliant la partie méridionale du *Syrtis Major* avec le *Colæ Palus*. Je ne vis rien d'analogue les nuits suivantes.

Quant aux canaux doubles, je ne les ai pas aperçus durant toute l'opposition.

En résumé, les canaux ont revêtu toutes les apparences : se présentant le plus souvent larges et diffus, très estompés sur les bords et sans limites arrêtées ; tantôt aussi sous forme de traits bien accusés, nets et linéaires ; parfois, enfin, quoique plus rarement, suivant des lignes irrégulières à nodosités.

A leur intersection, je n'ai jamais aperçu de points

sombres — taches rondes et oasis de M. Lowell. La carte que j'ai donnée ne peut rendre avec exactitude les configurations de la planète à un moment donné ; car j'ai été obligé de marquer tous les détails notés successivement durant quatre-vingt-dix-huit nuits d'observation.

En un mot, lorsqu'on étudie Mars sans parti pris, sans idée préconçue, on n'est nullement surpris des détails qu'on y remarque. Leur forme, leur couleur, les changements qu'on y constate m'ont paru très naturels, et je m'imagine volontiers que, pour un spectateur placé sur la Lune par exemple, la Terre, abstraction faite de la diffusion atmosphérique, se présenterait sous des formes analogues à celles que nous voyons sur la planète Mars.

Evidemment, nous ne savons pas ce que contiennent les *canaux* et les *mers* de Mars ; mais l'hypothèse d'une végétation martienne, appuyée sur le fait certain des variations saisonnières, me paraît de nature à satisfaire toutes les exigences. On a parlé de déplacements des lignes de rivage, de lacs nouveaux, de canaux changeant leur cours, etc... Tout ceci peut s'expliquer par une extension variable de la flore suivant les mois, les années, les époques.

En supposant l'atmosphère de Mars plus raréfiée que la nôtre, — ce qui paraît bien certain, — il demeure évident que l'influence de la radiation solaire sur le sol martien s'y fait plus sentir que chez nous ; or, nous savons aujourd'hui à quel point cette radiation est inconstante ; ses effets sont donc éminemment variables.

Pour la Terre, c'est une vérité qui n'a pas besoin

de démonstration ; la distribution des pluies suivant les époques, les hivers doux ou rigoureux, la chaleur torride de certains étés, le nombre des cyclones et des tempêtes, etc..., dépendent sûrement de l'état du Soleil. A plus forte raison, ces différences seraient-elles plus accusées si notre atmosphère et sa vapeur d'eau abondante n'étaient point là pour régulariser et répartir plus uniformément la chaleur reçue.

Mars nous paraît donc dans des conditions vraiment privilégiées pour refléter les variations solaires, et il n'est pas étonnant qu'on y observe d'année en année de très sérieux changements dans la répartition des teintes verdâtres. Une étude plus attentive de notre voisine à ce point de vue particulier seraient probablement féconde en résultats.

Il ne faudrait pas cependant s'exagérer l'importance des variations topographiques. Nous savons depuis longtemps qu'on peut considérer comme fixes les grandes lignes de la géographie martienne. Les changements ne doivent porter que sur d'insignifiants détails. Telle année, par exemple, certains canaux se montreront nettement, alors que les années suivantes ils seront à peine visibles, et fort difficiles à identifier. A telle opposition, certains dessinateurs noteront que la *mer du Sablier* est apparue sous une certaine forme, s'accordant mal avec celle des années précédentes, etc...

Dans ces faits, qui paraissent réels et dont nous ne discuterons pas l'authenticité, on ne tient pas assez compte des variations survenues au cours d'une même opposition. J'ai été à même de constater, en

1905, des variations rapides dans la forme de *Syrtis Major* et dans le territoire adjacent au Nord. Des dessins faits à un mois de distance pourraient fort bien passer pour des variations annuelles. Il y aurait donc lieu de regarder les choses d'un peu plus près et de voir s'il n'y aurait pas là le fait de variations saisonnières. Il faudrait donc tenir compte des dessins pris pendant toute une opposition et ne pas se contenter de choisir certains d'entre eux comme on a coutume de le faire. Il faudrait aussi que chaque observateur multipliât le nombre de ceux-ci afin d'avoir une série bien complète.

§ 4. — *L'atmosphère de Mars*

Nous sommes amené naturellement à parler des conditions dans lesquelles nous devons travailler lorsque nous étudions la planète Mars.

On répète généralement depuis près d'un siècle que l'atmosphère martienne est d'une admirable pureté, et cette affirmation, basée sur les dires de certains astronomes, a conduit dans l'étude de Mars aux plus déplorables conséquences. Voici comment : Lorsqu'un observateur n'aperçoit que des détails confus sur la planète, l'idée que ce manque de netteté provient de l'atmosphère terrestre le décourage aussitôt ; n'ayant devant les yeux qu'une mauvaise image, il a vite fait de fermer sa coupole et de remettre à un moment plus favorable l'inspection du disque informe aperçu dans son équatorial.

Il y aurait cependant mieux à faire ; une étude attentive le persuaderait que, sept fois sur dix, le manque de netteté n'est pas attribuable à une mau-

vaise définition. Bien souvent, en effet, les bords de la planète sont fort nets, sans oscillations appréciables, sans déformation d'aucun genre. Si les détails du sol martien ne peuvent être facilement entrevus, cela tient simplement à la présence de brouillards sur Mars. Tout informe qu'il soit, un dessin pris dans ces conditions est aussi précieux et non moins instructif qu'une vue détaillée de la planète.

Pendant l'opposition de 1905, j'ai aperçu des cas de ce genre à différentes reprises et je n'ai jamais manqué de les noter sur mon agenda. J'en citerai trois exemples : A la fin d'avril, les régions entourant le pôle boréal étaient très indistinctes ; le phénomène dura plusieurs jours, et ce n'est que le 5 mai suivant que la planète reprit son aspect antérieur.

Le 10 mai, par une très belle nuit, je pus dessiner un grand nombre de détails ; même aspect le jour suivant ; les 12 et 13 mai, malgré un ciel très pur et une définition parfaite, tout était changé. A part un coin de l'hémisphère austral se détachant très net, tout le reste était flou ; la plupart des canaux restèrent invisibles pendant plusieurs jours. On eût dit que la planète était recouverte d'un verre finement dépoli.

Le 18 mai, une teinte blanchâtre envahissait les régions australes, tandis que les régions boréales, antérieurement voilées, apparaissaient avec une foule de détails ; deux jours après, le disque entier disparaissait dans la brume.

Ces exemples, que je pourrais multiplier, fournissent la preuve certaine que l'atmosphère martienne

n'est pas aussi limpide qu'on s'était plu à l'imaginer. Tous les trois ou quatre jours, j'ai constaté la présence de brouillards paraissant sur des régions différentes.

J'ai pu constater aussi un autre effet bien curieux, qui n'a pas encore été signalé d'une façon aussi complète à ma connaissance : c'est la coloration de certaines régions par la couche atmosphérique. Ces colorations se sont présentées dans les parties voisines des pôles.

Le 3 avril, une teinte bleu foncé recouvrait la *Mare Cimmerium* et la *Mare Sirenum* ; la presqu'île importante *Hesperia*, qui sépare ces deux mers, était invisible et disparaissait sous un voile coloré ; même teinte moins accentuée près du pôle boréal. Cette coloration bleue, déjà signalée par quelques observateurs, me parut étrange au premier abord et je ne m'expliquai pas comment une presqu'île aussi visible que *Hesperia* pouvait en être affectée au point de disparaître.

Cette couleur s'effaça peu à peu les jours suivants, mais elle reparut le 17 avril dans des conditions vraiment curieuses. Cette fois, elle ne cachait aucun détail des configurations de la planète ; elle était foncée, mais le bleu tirait sur l'indigo et s'atténuait peu à peu vers la région de *Thaumasia* pour finir par des tons roses affaiblis. Une coloration analogue était encore visible au pôle boréal. Je pensai sérieusement que mon objectif était mal centré, que les variations de température en étaient la cause, et que ces colorations étaient dues à un manque de parallélisme entre l'oculaire et l'objectif. Vé-

rification faite, le centrage était demeuré parfait et il n'y avait là aucune coloration attribuable à l'instrument. Dès le lendemain, d'ailleurs, le voile coloré avait disparu et je ne le revis que le 18 mai suivant, mais dans des conditions telles que le doute n'était plus permis. *Thaumasia* était nettement coupée transversalement par une bande bleu-violet ne cachant aucun détail, s'étendant sur toute la calotte comprise entre le pôle austral et le vingt-cinquième parallèle, et affectant aussi bien les *mers* et les *îles* que les *continents.*

Or il est inadmissible qu'un ton si uniformément répandu soit dû à une même coloration, qui appartiendrait à des objets aussi disparates que les mers, les îles, les détroits et les continents ! Il est plus inadmissible encore que tous ces objets puissent varier de tons simultanément d'une nuit à l'autre, et cela à partir d'un parallèle donné. Il faut évidemment que la teinte soit due à l'atmosphère de la planète.

Cette explication s'accorde parfaitement avec ce que nous savons des teintes remarquées dans notre propre atmosphère. Je renverrai le lecteur au travail de M. Sagnac déjà cité plus haut. Je me contenterai de donner les conclusions sommaires de son étude :

Le bleu du ciel ne dépend pas d'une coloration propre de l'atmosphère ; il s'explique par la diffusion des radiations solaires sur des particules atmosphériques invisibles au microscope.

Ces particules différentes peuvent être *les molécules mêmes des gaz de l'air ;* et le bleu du ciel

provient alors et surtout des couches atmosphériques les plus élevées.

La raréfaction de l'air favorise donc le phénomène. Il y a plus ; M. Sagnac a montré, par des expériences très délicates, que l'atmosphère diffuse surtout les radiations violettes et ultra-violettes, et, si notre rétine était plus sensible aux radiations de petite longueur d'onde, le ciel nous paraîtrait d'une belle couleur violette.

Or, sur la planète Mars, qui nous présente une enveloppe gazeuse très raréfiée, ces tons bleus doivent s'accentuer vers l'extrémité violette du spectre et, en effet, les colorations bleues ont toujours été mélangées d'indigo et de violet. Le fait que ces tons bleus sont surtout visibles dans les contrées polaires s'expliquerait assez bien par la considération d'un état hygrométrique moins accentué dans ces régions.

§ 5. — *La Température de Mars*

Aucun sujet, si ce n'est la gémination, n'a été aussi discuté dans l'Aréographie que la température de la planète. Les éléments de cette étude paraissent au premier abord très discordants et, de plus, fort difficiles à analyser. Comment concilier, par exemple, la fonte complète des neiges formant les caps polaires de Mars avec ce fait que la chaleur reçue du Soleil par l'hémisphère boréal martien est à celle de l'hémisphère terrestre correspondant dans le rapport de 43 à 100 ?

M. le colonel du Ligondès a essayé de tourner la difficulté en admettant que, si Mars a une tempéra-

ture supérieure à celle de la Terre, eu égard à sa distance au Soleil, le supplément de chaleur doit provenir de couches profondes (1). Nous ne le suivrons pas dans le développement des raisons qu'il invoque ; il sera plus utile d'aborder immédiatement la question au point de vue théorique. Nous verrons ensuite si ces conclusions peuvent s'accorder avec notre connaissance des faits dûment enregistrés.

Dans une belle étude sur *la Radiation dans le Système solaire* (2), le professeur J.-H. Poynting a cherché, par l'application de la loi de Stéphan, à se faire une idée des températures des différentes planètes. Voici quelques chiffres très instructifs :

Vénus aurait une température moyenne de + 85°C.; la Terre + 27°; Mars − 30°. Enfin, sur la planète Neptune, le froid correspondrait à 219° au-dessous de zéro.

Ces nombres paraîtront bien près de la vérité si nous considérons que la température moyenne de la Terre est à 10° près celle que fournit l'application de la loi de la quatrième puissance.

Le calcul donne en effet + 27° pour un petit corps noir placé à la distance de la Terre, alors qu'en fait la température moyenne paraît être + 17°C. environ. Cette différence provient de ce que la Terre

---

(1) Du Ligondès : Essai sur la constitution physique de Mars. *Bulletin de la Soc. Belge d'Astr.*, n°s 8, 9, 10 et 11 (1898). V. aussi : Considérations sur l'état physique de Mars (23 et 30 avril 1898).

(2) Radiation dans le système solaire. *Nature* du 20 sept. 1904.

est beaucoup trop grande pour que la distribution de la chaleur par conduction joue un rôle sérieux dans l'égalisation des températures en différentes régions. D'autre part, cependant, la rotation du globe assure une température à peu près uniforme à une latitude donnée et les mouvements de l'atmosphère tendent à distribuer également la chaleur reçue. La Terre doit donc posséder à peu près la température du petit corps noir à la même distance ; mais, comme elle réfléchit une fraction de la radiation solaire, sa température moyenne sera forcément un peu supérieure. Nous pouvons raisonner de même par analogie pour la planète Mars, en supposant toutefois, ce qui n'est probablement pas, que les conditions de constitution physique du globe martien sont les mêmes que sur la Terre.

Voyons cependant les résultats ; nous les discuterons ensuite. D'après les considérations précédentes, il faudrait descendre de 10° environ la température calculée, ce qui donnerait pour la température moyenne 37° au-dessous de zéro.

Étant données les températures extrêmes observées sur la Terre, on peut calculer par analogie les températures sur Mars.

Pour l'air, voici les chiffres auxquels nous sommes arrivés. A l'équateur de Mars, la moyenne serait de 23° au-dessous de zéro, tandis que le maximum atteindrait facilement la température de la glace fondante et la dépasserait même de quelques degrés.

Aux pôles, le maximum serait voisin de — 36° et la température minima descendrait à plus de 100° au-dessous de zéro.

Quant à la chaleur du sol, on sait qu'elle est souvent bien supérieure à celle de l'atmosphère avoisinante.

Dans son expédition vers le Pôle nord, Nanssen a constaté qu'un thermomètre exposé au Soleil sur un traîneau marquait +31°5 C., alors que la température de l'air était de —11° C., soit une différence de 42°5.

Sur Mars, dans les régions polaires, la température du sol pourrait donc dépasser 5° au-dessus de zéro, ce qui suffirait pour fondre la neige tombée.

A l'équateur, le sol peut présenter des températures bien supérieures et probablement voisines de +16° C.

Ces chiffres, loin d'être exagérés, ne tiennent pas compte de la pression atmosphérique, qui paraît être trois fois moins forte sur Mars que sur la Terre. La radiation solaire y est donc moins arrêtée que chez nous, si bien que les températures, pendant la journée doivent être de ce fait plutôt augmentées dans une bonne proportion.

Cette raréfaction doit aussi favoriser très énergiquement la vaporisation de l'eau contenue sur la planète, et accumuler la chaleur latente ; nous touchons là sans doute l'un des points les plus importants de la Météorologie martienne, probablement fort différente de la nôtre ; grâce à cette basse pression, l'eau peut à peine rester à l'état liquide. Pendant la journée, elle doit demeurer à l'état de vapeur saturante dans l'atmosphère, ce qui explique la limpidité de celle-ci. Le froid brusque de la nuit, ou même la moindre variation de température, doit

amener immédiatement la production de brumes ou de brouillards plus ou moins opaques réfléchissant la lumière blanche. C'est précisément ce que nous observons sur les bords de la planète, c'est-à-dire au soleil levant ou au soleil couchant. Un froid plus rigoureux précipite la vapeur d'eau en flocons de neige ou la fait se déposer sous forme de gelée blanche ; différentes régions semblent même en être couvertes d'une façon continue ; ce sont, sans doute, de hauts plateaux. Les neiges polaires elles-mêmes ne sauraient atteindre une forte épaisseur, car la considération d'un été deux fois plus long que les nôtres ne pourrait expliquer la fonte parfois complète des calottes polaires.

Au pôle nord de la Terre, dans l'Inlandsis du Groenland, les sondages faits par Nanssen ont, en effet, montré que les plus fortes journées d'été ne peuvent produire une fusion notable de la couche neigeuse.

Dans les régions tempérées ou tropicales de Mars, l'eau saturant l'atmosphère doit, pendant la nuit, se déposer sous forme de rosée très abondante, et c'est probablement la seule manière dont les plantes, si elles existent, s'alimentent de cette substance indispensable à la vie organique.

Le Soleil ne parvient pas toujours à dissiper les brumes formées la nuit. Nous avons vu combien les brouillards sont abondants sur la planète et quelle étendue ils recouvrent. Cette présence de brumes persistant parfois plusieurs jours pourrait nous fournir une hypothèse plausible de la gémination. Quoi d'étonnant, en effet, à ce que, vers l'automne

de la planète, les grandes vallées soient envahies par les brouillards que la radiation solaire, trop faible alors, serait impuissante à dissiper ! Ces brumes, accumulées dans les bas-fonds, laisseraient à découvert les flancs plus élevés, dont la végétation n'aurait pas encore entièrement disparu et qui nous apparaîtraient comme deux traits grossièrement parallèles.

C'est l'explication la plus simple de la gémination, si tant est que ce phénomène existe réellement. De même, les canaux blancs visibles sur les grandes étendues sombres, improprement appelées mers, n'auraient pas d'autre origine.

Sans vouloir viser à la prétention d'expliquer entièrement ce que l'on est convenu d'appeler " l'énigme martienne ", il me semble que ces quelques considérations sont de nature à jeter un certain jour sur les faits dûment constatés. Une étude plus attentive de ce monde rapproché, étude que nous devons faire sans parti pris, nous initiera peu à peu, il faut l'espérer, aux secrets qu'il a cachés jusqu'ici aux générations qui nous ont précédés.

L'Énigme Martienne

(Suite)

LA CLIMATOLOGIE DE LA PLANÈTE MARS

Depuis quelques années, la littérature scientifique s'est enrichie d'ouvrages nombreux sur la planète Mars, et ce monde voisin semble tenir le record de l'intérêt pour le public que passionne l'Astronomie. On parle couramment dans les quotidiens des canaux de Mars, des êtres qui peuplent la planète, des signaux qu'ils nous envoient. Le roman martien est devenu à la mode et les journaux n'ont pas hésité à publier des nouvelles et des histoires invraisemblables ayant pour thème des descriptions détaillées de cette mystérieuse planète. La plupart de ces œuvres, faut-il l'avouer, ne possèdent même pas les qualités de style qui, tout au moins, pourraient les recommander au lecteur au même titre que le *Voyage dans la Lune* de Cyrano de Bergerac, ou les *Entretiens* de M. de Fontenelle, ou encore l'œuvre si humoristique de Wells, le fameux romancier anglais.

A quoi faut-il attribuer cette floraison abondante qui nous envahit ? Il sortirait du cadre de ce travail d'en énumérer toutes les causes. Je me contenterai de dire que la *Question martienne* a pris surtout un caractère d'acuité marquée depuis les travaux très originaux, sans conteste, de M. Lowell. Cet astronome américain croit que les détails observés sur la planète ne peuvent s'expliquer qu'en les supposant l'œuvre de créatures intelligentes, plus ou moins analogues aux habitants de la Terre. Prouver que Mars est habitable et habité, telle est désormais, semble-t-il, la raison d'être de la vie de M. Lowell. Son observatoire, construit dans l'Arizona à 2 200 mètres d'altitude, les travaux qu'on y entreprend, l'activité qu'on y déploie n'ont jamais eu d'autre but. A chaque opposition de la planète, M. Lowell publie ses observations (1), et, toutes, elles viennent converger, on le sent à chaque ligne de ses écrits, vers cette idée que Mars a des habitants.

Comme toute opinion fondée sur des hypothèses et des " sentimentalités ", celle de M. Lowell a eu des contradicteurs. L'un, entre autres, l'illustre naturaliste anglais Wallace, l'émule de Darwin, s'est constitué l'adversaire résolu des doctrines lowelliennes, et n'a pas craint de publier ses idées dans

(1) Consulter en particulier : PERCIVAL LOWELL : Mars, 1896. — ID. : Mars and its Canals, 1907 ; — les *Bulletins de l'Observatoire Lowell* et divers articles de Revues anglaises et américaines.

différents ouvrages (1) qui ont eu un grand retentissement.

Outre que ce serait diminuer l'intérêt d'un aussi passionnant débat que de prendre parti pour l'un ou pour l'autre, il me semble que le moment n'est pas encore venu de se jeter dans la lice et de se mêler à la lutte.

Il me paraîtra donc d'une plus grande opportunité de demander à chaque adversaire les arguments qu'il peut fournir et de marquer les coups qu'il doit raisonnablement compter à son actif. Je ne perdrai pas de vue que cet article sera écrit aussi bien pour les lecteurs que le débat intéresse, que pour ceux qui veulent savoir, qui sont prêts à croire, à condition qu'on veuille bien leur en fournir les raisons. Car il serait téméraire de vouloir se renseigner dans les revues spéciales et les bulletins des sociétés, même astronomiques. On y louange les travaux de M. Lowell, — ce qui est parfait d'ailleurs, — mais on ose à peine discuter ses conclusions, et l'artificialité des canaux y apparaît comme une chose presque acquise à la science. L'esprit des lecteurs n'aurait-il pas changé depuis le Moyen-Age et serions-nous toujours au temps où l'on disait : *Magister dixit* ?

L'étude précédente a exposé les résultats certains

---

(1) Alfred Russel Wallace : La place de l'homme dans l'Univers, traduction française par Mme C. Barbey-Boissier. — Id. : Is Mars habitable ? A critical-examination of Prof. Percival Lowell's book « Mars and its Canals » with an alternative explication

de l'Aréographie. Notre but ici sera plus spécial, et nous chercherons quels moyens nous avons à notre disposition pour tenter un essai de la Climatologie de la planète.

I

Mars a certainement une atmosphère, mais quelle est sa densité ? Telle est la première question à résoudre.

Une planète privée d'enveloppe atmosphérique, comme la Lune, nous montre un disque également lumineux au centre et sur ses bords. La présence d'une couche d'air appréciable a pour conséquence d'atténuer les détails ou même de les faire disparaître complètement, surtout près des bords. C'est précisément ce que l'on observe sur Mars : le disque de la planète semble entouré d'une auréole blanchâtre, où tous les détails disparaissent.

Si, maintenant, nous cherchons à préciser la densité d'un tel milieu gazeux, nous nous trouvons en présence de nombreuses difficultés. Evidemment, nous pouvons essayer de raisonner par analogie. Mars est un monde plutôt petit, comparé à notre globe. Son diamètre est de 6 750 kilomètres seulement et son volume n'est que le septième de la Terre. Son poids est même inférieur à celui qu'on aurait pu conclure de son volume ; il ne faudrait pas moins de dix globes — 9,4 exactement — aussi pesants que Mars pour contrebalancer celui de la

Terre. Un corps terrestre transporté sur Mars y subirait donc une attraction beaucoup moindre, et le calcul indique que la pesanteur y serait diminuée dans le rapport de 1 à 0,376. Autrement dit, une masse quelconque, suspendue à un peson à ressort et accusant un poids de 1 000 grammes, ne marquerait plus que 376 grammes sur notre voisine.

Il a donc paru raisonnable de supposer que, s'il existe là-bas une atmosphère analogue à la nôtre, elle doit exercer à la surface de la planète une pression bien inférieure à ce que nous constatons chez nous. Nous pouvons dire que, si notre propre atmosphère entourait Mars, la pression au niveau de la mer ne serait pas de 760 millimètres, mais de 285,7 millimètres seulement, et chaque centimètre carré ne supporterait qu'un poids de 410 grammes au lieu de 1 033 grammes, ainsi que nous le constatons sur la Terre. Ce serait une pression correspondant à celle que nous trouvons sur les montagnes les plus élevées, à 8 000 mètres d'altitude.

Mais alors un corollaire s'impose : sur Mars, l'atmosphère doit être beaucoup plus étendue, puisqu'elle est moins comprimée en raison de la faible attraction ; elle peut donc se développer sur une hauteur plus considérable, et la densité de la couche gazeuse diminue moins rapidement que chez nous.

Ces idées sont loin d'être nouvelles : Proctor (1)

---

(1) *Monthly Notices*, t. XLVIII, p. 307. — Proctor, Old and New Astronomy, Londres et New-York, 1888. — V. également du même auteur : Chart of Mars, from 27 drawings by M. Dawes. — Half-hours with the teles-

les développait déjà il y a une vingtaine d'années lorsqu'il écrivait : " Sur notre globe, une élévation de 4 000 mètres suffit pour diminuer de moitié la pression atmosphérique. Sur Mars, il faudrait une élévation de 10 400 mètres pour arriver au même résultat. Ici, à une altitude de 21 000 mètres au-dessus du niveau de la mer, la pression atmosphérique est réduite à 1/32 ; à la même altitude sur Mars, elle n'est réduite que de 1/4. En admettant qu'au niveau de la mer sur Mars cette pression soit 1/7 de ce qu'elle est ici, l'air martien serait plus dense à une altitude de 29 000 mètres que chez nous à la même hauteur. A de plus grandes élévations, la différence s'accroît encore en faveur de Mars. "

On a eu aussi recours à des considérations d'ordre cosmogonique, et l'on est arrivé sensiblement au même résultat. Nous ne voyons pas de raison plausible pour que chaque planète n'ait pas retenu à l'origine une quantité proportionnelle de molécules destinées à former son atmosphère. Or, de deux corps semblables, le plus petit a la plus grande surface pour son volume ; dès lors, l'atmosphère d'un corps plus petit se trouve obligée de recouvrir une plus grande surface et doit, par conséquent, être plus légère. Mais qui ne voit que de telles considérations sont fondées sur des hypothèses absolument arbitraires ; tout cela est déduit logiquement

cope, 1869. — Others worlds than ours, 1870. — The orbs around us. 1872. — Essays on Astronomy, 1872. — Flowers of the sky.

de principes qu'il faudrait commencer à prouver et à faire admettre, et la série de postulats sur lesquels reposent nos déductions est loin d'être démontrée.

Chercher à évaluer en chiffres la quantité d'atmosphère entourant une planète, c'est vouloir, dans l'état actuel de notre science, transformer nos rêveries en réalités. Et, lorsque Proctor, en se fondant sur les différentes causes énoncées plus haut, arrive à ce résultat que la couche d'air, au niveau du sol martien, a une densité égale au 1/7 de notre atmosphère, je n'attache à son hypothèse — qu'il a d'ailleurs présentée comme telle — pas plus de créance qu'à l'opinion de M. Lowell affirmant que la densité de la couche inférieure ne dépasse pas le 1/12 de la nôtre, et qu'ainsi l'atmosphère martienne fait équilibre à une colonne mercurielle de 63 millimètres seulement. Je souscrirais plus volontiers à l'opinion du P. Secchi, qui écrivait en 1858 (1) : " Mars parait avoir une atmosphère. La clarté de son disque est beaucoup plus faible vers les bords qu'au centre ; de plus, la netteté des contours, des configurations s'efface dans le voisinage des bords, ce qui semble démontrer qu'il y a là une atmosphère, mais *très faible* et certainement beaucoup moins dense que celle de Jupiter et *probablement* même que celle de la Terre. "

(1) SECCHI : Sugli spettri prismatici dei celesti, Rome, 1868 et 1872.

II

Ici se place tout naturellement une autre question : Existe-t-il des nuages à la surface de Mars ? Nous allons trouver, là encore, des divergences considérables.

Pour M. Lowell, la raréfaction de l'air rend presque impossible la formation de nuages proprement dits. " La première et la plus remarquable des caractéristiques de Mars, écrivait-il naguère (1), est l'absence de nuages. Un nuage est un événement sur Mars, un phénomène rare et extraordinaire, et qui, là-bas, serait beaucoup plus apprécié que sur notre Terre, car notre voisine dans l'espace jouit d'un beau temps presque perpétuel. Du commencement à la fin du jour et d'une année à l'autre, on ne voit rien qui voile la plus petite partie de la surface de la planète." Et, d'après lui, si certains observateurs ont cru voir souvent la présence de nuages sur la planète, sous prétexte que les détails étaient flous ou même invisibles, cela tenait ou à l'imperfection de l'instrument, ou, mieux, à la mauvaise qualité de l'atmosphère terrestre au point d'observation. Mais, dans une atmosphère pure et calme comme celle de Flagstaff, ce voile n'apparaît jamais ou à peu près.

Déjà l'astronome anglais Dawes, l'observateur " à

(1) Lowell : Mars, 1896. Ch. X. *Atmosphère.*

l'œil d'aigle", écrivait en 1864 (1) : "Mon impression est que l'atmosphère de la planète Mars n'est pas habituellement très nuageuse. Pendant la dernière opposition, les principales configurations se sont presque constamment montrées clairement et nettement. Je n'ai pas une seule fois pu constater qu'il y ait eu avec certitude des régions masquées par du brouillard et des nuages. La seule exception à cette permanence consiste dans des taches très blanches, notées en quelques rares circonstances et qui donnent l'impression soit de masses de neige, soit de masses nuageuses dont la surface réfléchit vivement la lumière solaire."

D'autres observateurs, cependant, ne sont pas de cet avis et ont vu souvent le disque de Mars comme voilé par des nuages appartenant bien à la surface de la planète. En 1863, sir Norman Lockyer (2), dans une communication à la Royal Astronomical Society, décrivant ses observations de Mars pendant l'opposition de 1862, montre que, "tout en regardant comme hors de doute la fixité absolue des principaux détails de Mars, cependant chaque jour — on pourrait dire à chaque heure — il se produit des changements dans le détail et dans les tons des différentes parties de la planète, à la fois claires et sombres. Ces chan-

(1) Dawes : Hopefield Observatory, Haddenham, Bucks, Angleterre. — *Royal Astronomical Society, Monthly Notices*, t. XXV. — *Memoirs of the Roy. Astr. Soc.*, t. XXXIV.

(2) Sir N. Lockyer : Measures of the planet Mars, made at the opposition of 1862. *Mem. of the Roy Astr. Soc.*, t. XXXII, p. 190.

gements sont certainement causés par le passage de nuages sur les différents détails. " Les dessins accompagnant le Mémoire montraient les changements mentionnés et confirmaient les soupçons des effets nuageux notés déjà par Secchi en 1858 (1).

Tout récemment, M. Denning, résumant ses observations de 1903, écrivait (2) : « Pendant mes observations, j'ai remarqué plusieurs changements frappants dans des objets bien apparents ; ils étaient probablement occasionnés par des mouvements atmosphériques à la surface de la planète. La présence de nuages ou de vapeurs obscurcissantes ne devait cependant affecter que des régions relativement petites, car les détails étaient ordinairement visibles d'une nuit à l'autre sous des aspects semblables, en tenant compte de la définition variable. "

En 1905, le professeur W. H. Pickering (3) trouvait aussi la preuve de formations nuageuses sur un certain nombre de photographies de Mars, dont quelques-unes avaient été prises à Cambridge dans le Massachusetts en 1888, et les autres au Mont Wilson en 1890. Ces photographies ne montraient ni les canaux ni les lacs, mais elles indiquaient suffisamment une variation due aux changements météorolo-

---

(1) SECCHI : Osservazioni di Marte, fatte durante l'opposizione del 1858. *Memorie dell' Observatorio del Collegio Romano*. Rome, 1859. — ID., nuova série, vol. II, 1863.

(2) *Knowledge*, avril 1904.

(3) *Harvard College Observatory Annals*, n° 8, vol. LIII, 1905. — *Nature*, 9 nov. 1905.

giques. En terminant, le professeur Pickering faisait remarquer qu'il y a maintenant sur Mars la preuve directe d'une circulation atmosphérique effective d'humidité, qui semblerait expliquer parfaitement le transport observé des précipitations alternatives d'un pôle à l'autre pendant l'année martienne.

Je pourrais également citer mes propres observations pendant l'opposition de 1905. L'étude attentive de la planète m'a donné, en effet, la persuasion que, sept fois sur dix, le manque de netteté des détails sur Mars n'est pas attribuable à une mauvaise définition. Bien souvent, en effet, les bords de l'image sont fort nets, sans oscillations appréciables, sans déformation d'aucun genre. Si les détails du sol martien ne peuvent être facilement entrevus, cela tient simplement à la présence de *brouillards* sur notre voisine. Je n'ai jamais vu de nuages proprement dits, mais plutôt un ensemble confus rappelant de la brume.

A la suite de ces observations, M. Lowell m'a fait remarquer qu'il n'avait rien vu de semblable aux jours indiqués (1) et que le flou tenait uniquement au mauvais état de notre atmosphère. Cette explication ne me paraît point suffisante, car il est inadmissible de prétendre que l'état de notre atmosphère puisse affecter telle ou telle partie de la planète pendant des soirées entières. D'ailleurs, un astronome habitué aux observations reconnaît immédiatement

(1) La différence d'heure entre Flagstaff et Paris rend impossible la comparaison des dessins de la planète Mars pris le même jour aux deux endroits.

s'il s'agit d'une bonne ou d'une mauvaise définition. Or, je n'ai publié que des observations faites par de très bonnes définitions et, même dans ce cas, j'ai vu plusieurs fois des régions entières tout à fait indistinctes, alors que les parties voisines laissaient apercevoir une foule de détails.

On a encore constaté d'une autre façon la présence de nuages sur la planète. Nous voulons parler des projections lumineuses hors du terminateur quand Mars présente une phase sensible.

C'est donc un fait acquis désormais : il existe sur Mars des nuages ou, mieux, des brumes et des brouillards voilant parfois une grande partie de la planète, et d'autres nuages plus épais qui apparaissent hors du terminateur.

Enfin, Mars nous présente des calottes polaires analogues à celles de la Terre. Ces calottes polaires fondent presque complètement pendant les étés martiens et se reforment durant l'hiver : ce qui suppose évidemment sur notre voisine des précipitations atmosphériques. A plusieurs reprises, on a pu assister à leur formation et en saisir le mécanisme sur le fait. M. Lowell a fait d'intéressantes observations à ce sujet (1). On pourrait croire que ce qui reste de l'ancienne calotte s'agrandit à mesure par les bords. Il n'en est pas ainsi. A quelque distance de la tache principale se forment des noyaux qui augmentent peu à peu d'étendue et viennent rejoindre la calotte primitive pour former un tout complet avec elle.

(1) *Bulletin de l'Observatoire Lowell*, nº 22, 1905. — *Nature*, 10 avril 1905. — *Popular Astronomy*, 1905.

Pendant les observations de ce genre faites en juillet 1903, le nouveau dépôt était parfaitement distinct et recouvrait une vaste étendue des régions arctiques et tempérées jusqu'à 55° de latitude. Quand les nouvelles couches blanches recouvrirent les restes de l'ancienne calotte, celle-ci ne disparut pas complètement, mais son emplacement était facilement reconnu en raison de son plus grand éclat. Ceci montre bien le caractère superficiel de la calotte polaire. Elle est formée de couches successives d'une substance que l'on peut raisonnablement regarder comme du givre ; au centre se trouve un petit noyau de neige perpétuelle. Puis les couches de givre s'ajoutent les unes aux autres et les observations montrent des dépots quotidiens jusqu'au moment où toute la région polaire en est recouverte.

Tout cet ensemble de faits : diminution d'éclat sur les bords du disque, nuages et brouillards, calottes polaires, prouve, une fois de plus, que Mars a une atmosphère, qu'il y existe une circulation assez active et que, pour tout résumer en un mot, on y observe des phénomènes analogues à ceux que l'on constate sur la Terre. Seule, la raréfaction de la couche atmosphérique peut expliquer leur différence d'intensité.

III

Il nous reste maintenant à rechercher la composition de cette atmosphère. Renferme-t-elle, comme chez nous, de l'oxygène, de l'azote, de l'acide car-

bonique, de la vapeur d'eau ? Les nuages que nous observons sont-ils formés de gouttelettes d'eau ; les calottes polaires sont-elles de neige semblable à celle que l'on trouve sur la Terre ? Il est difficile de répondre catégoriquement à ces diverses questions ; pourtant, nous avons des données suffisamment sérieuses pour permettre de faire des suppositions raisonnables. Le point sur lequel les astronomes ont le plus discuté a été de savoir s'il existe de la vapeur d'eau dans l'atmosphère martienne ; et cette question d'une substance capable de produire des nuages, des brouillards et de la neige est, en effet, fondamentale pour tous ceux qui veulent que notre voisine soit habitée. Il semble bien que, si nous jugeons par ce que nous observons des êtres connus, animaux ou végétaux, tous ont un absolu besoin d'eau, non seulement pour vivre, mais encore pour être constitués.

Le problème a été traité de différentes façons et, en l'absence de preuves expérimentales, on a eu recours dès l'abord à d'ingénieuses théories.

Les recherches modernes ont démontré que ce que nous appelons milieu gazeux n'est en réalité qu'un amas de molécules beaucoup trop petites pour être perceptibles, même dans les plus puissants microscopes. Chacune de ces molécules est animée d'un mouvement rapide, si bien que, dans la masse gazeuse, chaque molécule rencontre constamment ses voisines ; de là naissent les chocs et des changements perpétuels aussi bien dans la direction que dans la vitesse. Pour chaque gaz, cependant, les molécules ont une certaine vitesse moyenne pour une tempéra-

ture donnée, et, quand un milieu se trouve composé de plusieurs gaz comme notre atmosphère, chaque molécule de ces gaz continue à se mouvoir avec sa vitesse particulière. On est parvenu à mesurer les vitesses moyennes des molécules : c'est ainsi que, pour l'oxygène, cette vitesse n'est que de 400 mètres, tandis qu'elle atteint pour l'hydrogène jusqu'à 1 600 mètres par seconde, en supposant que la température soit la même dans les deux cas, 64° C. au-dessous de zéro, ce qui correspond à la température supposée des confins de notre atmosphère. Les vitesses extrêmes, d'après les recherches de Clerk Maxwell, peuvent être dix fois plus grandes ou plus petites.

Si la température augmente, la vitesse des molécules augmente également ; ainsi, à la température de la glace fondante, 0° C., une molécule d'hydrogène se mouvant en ligne droite et n'étant arrêtée par aucune autre molécule ou corps solide, ne parcourrait pas moins de 2 000 mètres à la seconde. Dans les mêmes conditions, une molécule d'oxygène voyagerait à travers l'espace au taux de 530 mètres par seconde.

En fait, les quantités relatives de mouvement sont inversement proportionnelles aux racines carrées des densités des gaz. Or, comme l'oxygène est seize fois plus lourd que l'hydrogène, une molécule de ce dernier gaz, libre de se mouvoir en ligne droite dans l'espace, serait animée d'une vitesse quatre fois plus grande qu'une molécule d'oxygène.

D'autre part, si la température diminuait, la vitesse se ralentirait et finalement la molécule resterait

immobile ; le cas se présenterait au zéro absolu de température, à 273° au-dessous de zéro dans l'échelle centigrade.

Il y a quelques années, le Dr Johnstone Stoney a appliqué cette théorie cinétique des gaz à la question des atmosphères des planètes et de leurs satellites ; voici comment : on sait qu'un corps lancé à la surface de la Terre est attiré par notre globe, que sa vitesse diminue peu à peu, et que, finalement, il retombe. Mais, si le corps projeté était animé d'une vitesse suffisante, il pourrait vaincre définitivement la force de la pesanteur et sortir de la sphère d'attraction de la Terre. Cette vitesse est celle qu'aurait, au moment de sa chute, un corps tombant des étoiles à la surface de notre globe et soumis seulement à l'attraction de la Terre. On a donné à cette vitesse le nom de parabolique, parce que le corps décrirait autour de notre globe une trajectoire ouverte en forme de parabole. Cette vitesse parabolique est de 11,17 kilomètres à la surface de la Terre. Autrement dit, un projectile lancé avec cette vitesse s'éloignerait indéfiniment de nous en suivant une trajectoire parabolique.

Cette vitesse critique n'est pas la même pour tous les astres : elle dépend de la masse du corps attirant ; par conséquent, plus cette masse sera faible, et plus cette vitesse sera réduite. Ainsi, sur la Lune, dont la masse n'est que la 81e partie de celle de la Terre, un corps ayant un mouvement de 2,36 kilomètres par seconde s'échapperait nécessairement. Pour le Soleil, au contraire, la vitesse critique serait de 612,71 kilomètres par seconde. Voici,

d'ailleurs, les vitesses paraboliques à la surface de chaque planète. D'après la formule $v^2 = 2gr$, r étant le rayon de la planète, on a pour :

Mercure, vit. parabolique...	3 km., 76
Vénus	10 km., 47
Terre	11 km., 17
Lune	2 km., 30
Mars	5 km., 03
Jupiter	60 km., 40
Saturne	36 km., 32
Uranus	22 km., 30
Neptune	23 km., 20

On comprend facilement, d'après la théorie du Dr Stoney, que, si les molécules d'un gaz sont animées d'une vitesse égale ou supérieure à la vitesse parabolique d'une planète, ce gaz ne peut rester à sa surface. Supposons donc une molécule d'hydrogène animée d'une vitesse maxima dix fois supérieure à la vitesse moyenne ; elle voyagera sur les confins de notre atmosphère à raison de 16 kilomètres à la seconde, vitesse bien supérieure à la force d'attraction de notre globe. Comme il n'y a aucune raison pour que chaque molécule n'atteigne pas un jour ou l'autre cette vitesse maxima, l'hydrogène doit sans cesse quitter la Terre et fuir à travers les espaces. Il en est probablement de même pour l'hélium ; mais ce gaz doit s'échapper lentement, parce que sa vitesse maxima n'est que très voisine de la vitesse parabolique. Il nous a paru intéressant de réunir dans un tableau d'ensemble la vitesse

moyenne des molécules pour les principaux gaz de notre atmosphère :

TABLEAU I. — *Vitesse moyenne des molécules des gaz de notre atmosphère.*

GAZ	DENSITÉ	VITESSE PAR SECONDE	
		Température = 0° C.	Température = − 64° C.
Azote.	14	535 mètres	427 mètres
Oxygène	16	500 —	400 —
Argon.	20	447 —	358 —
Bioxyde de carbone..	22	426 —	340 —
Vapeur d'eau	9	666 —	533 —
Ammoniaque	8,5	686 —	550 —
Hélium	2	1 414 —	1 131 —
Hydrogène	1	2 000 —	1 600 —

Cette théorie semble confirmée, d'après M. Stoney, non seulement par ce que l'on voit sur notre planète, mais encore par l'observation des autres corps planétaires. Vénus, par exemple, dont la masse est très voisine de celle de la Terre, nous apparaît avec une atmosphère très dense. Mercure, plus petit, semble n'avoir que très peu d'atmosphère. La Lune serait encore un exemple frappant de l'impossibilité où se trouvent les corps relativement légers de conserver une enveloppe gazeuse. Les grosses planètes, au contraire, sont entourées d'atmosphères à forte densité et l'on doit y trouver en abondance les gaz

les plus légers. Quant au Soleil, l'attraction qu'il exerce dans les couches extrêmes de son atmosphère est si puissante qu'aucun gaz, même l'hydrogène ne peut lui échapper. Nous pouvons ainsi expliquer la présence de l'hydrogène dans les atmosphères de soleils très gros comme Sirius et Véga : leur masse est suffisante pour retenir ce subtil élément lui-même.

Pour ce qui est de Mars en particulier, nous avons vu que la vitesse critique à sa surface est de 5 000 mètres en chiffres ronds : dans ces conditions, l'azote, l'oxygène, l'argon et le bioxyde de carbone peuvent y être à l'état permanent, mais la vapeur d'eau doit s'en échapper très rapidement. Or, ici, l'observation contredit nettement la théorie.

Déjà certains savants s'étaient inscrits en faux contre les conclusions du Dr Stoney. " On a cherché souvent à expliquer, en s'appuyant sur la théorie cinétique, l'absence de gaz légers dans les atmosphères planétaires. Mais alors on peut se demander pourquoi les comètes, à la surface desquelles la vitesse critique est excessivement faible, ne sont pas déjà et depuis longtemps toutes dispersées ; comment aussi les planètes qui ont été formées par des agglomérations successives de vapeurs et de gaz portés à une haute température, n'ont pas vu leurs matériaux se dissiper avant même d'avoir été réunis ? Cette contradiction a, sans doute, échappé à ceux qui s'appuient sur la théorie cinétique pour dire que les petits astres ne peuvent pas conserver d'atmosphère. "

M. du Ligondès (1), à qui nous avons emprunté les lignes précédentes, arrive à cette conclusion que, d'une planète à l'autre, les vitesses moléculaires à l'intérieur d'une couche atmosphérique de même densité varient exactement comme les vitesses critiques. La tendance à la dispersion des atmosphères est indépendante de la masse.

" Ce résultat, ajoute-t-il, pouvait être prévu. L'intensité de la pression, au moyen de laquelle on calcule la vitesse des molécules, n'est pas autre chose que le poids sur l'unité de surface, et comme, à l'intérieur d'une petite masse de gaz, la pression est à peu près la même en tous sens, elle doit, ainsi que le poids, suivre les variations de la gravité. D'ailleurs, les mouvements moléculaires, étant sans doute une conséquence de l'attraction universelle, obéissent à la loi de la chute des graves $v^2 = 2gh$; le carré de la vitesse est proportionnel à l'intensité de la pesanteur à la surface de chaque planète. "

C'est donc une erreur manifeste d'attribuer à la faiblesse de l'attraction lunaire l'absence d'atmosphère autour de notre satellite ; il faut plutôt croire que la porosité du sol, attestée par le relief de la surface, à déterminé l'absorption rapide de l'eau d'abord, ensuite celle des gaz.

Il est non moins faux de dire que l'hydrogène, l'hélium et autres gaz légers ont quitté la Terre pour se concentrer autour du Soleil. Si ces gaz avaient le pouvoir de diffusion qu'on leur prête, aucun astre ne

(1) *Bulletin de la Société Astronomique de France*, 1903, p. 291-293.

serait capable de les retenir. La théorie cinétique repose sur l'exactitude de la loi de Mariotte. Or, l'expérience apprend qu'au delà d'un certain degré de raréfaction la diminution de pression est plus rapide que celle de la densité ; c'est une preuve que les vitesses moléculaires décroissent aussi. Aux limites de notre atmosphère, où la température est très basse, ces vitesses sont donc loin d'atteindre les chiffres que la théorie donne pour les couches inférieures.

En résumé, les calculs et les raisonnements sur lesquels on s'appuie pour expliquer, d'après la théorie cinétique, l'absence de gaz légers ou même l'absence totale d'atmosphère autour des planètes ou de leurs satellites, paraissent dénués de tout fondement sérieux. L'application par Johnstone Stoney de la théorie de Clausius à l'étude des atmosphères planétaires semble donc abusive et sans valeur au point de vue théorique. D'ailleurs, comme nous le disions plus haut, l'observation à propos de Mars lui donne un démenti formel.

D'après Johnstone Stoney, la vapeur d'eau ne peut exister d'une façon permanente sur cette planète. Comment expliquer alors la présence de brouillards, de nuages, de calottes polaires ? Ces brouillards et ces nuages ne peuvent être formés que de vapeur d'eau. Je sais bien que M. Lowell attribue les nuages et les projections hors du terminateur à des masses de poussières. Mais il resterait toujours à expliquer les calottes polaires.

De plus, comment admettre que les poussières soient si répandues dans l'atmosphère martienne

sans qu'il s'y forme des nuages dûs à la condensation de la vapeur d'eau ? D'autre part, on a remarqué depuis longtemps, et M. Lowell a insisté sur ce point, que les calottes polaires sont entourées d'une ceinture bleuâtre épousant toutes les formes de la masse neigeuse. L'astronome américain l'attribue à la présence d'eau liquide à l'état permanent ; c'est elle qui, sous une certaine épaisseur, nous paraît bleue. Cette teinte, d'après M. Lowell, prouve catégoriquement que la calotte polaire n'est pas formée d'acide carbonique solidifié, car, étant donnée la basse pression qui existe sur la planète, l'acide carbonique passerait directement de l'état solide à l'état gazeux.

Mais tout le monde n'était pas disposé à admettre cette argumentation, que M. Wallace qualifiait tout récemment (1) de « très extraordinaire et très futile ». Il semble bien toutefois que l'on soit en droit d'affirmer que ces calottes polaires sont formées d'eau congelée. Le spectroscope a donné, en effet, au commencement de l'année 1906, la preuve définitive qu'il existe dans l'atmosphère de Mars de la vapeur d'eau en quantité considérable. Déjà, en 1862, MM. William Huggins et Miller (2) en Angleterre, Rutherfurd (3) aux Etats-Unis, recon-

(1) *Is Mars habitable ?* p. 34.

(2) Miller et Huggins : On the spectrum of Mars ; *Phil. Trans.*, 1864. — V. également : *Roy Astr. Soc.*, 8 mars 1867 ; *Month. Not.*, t. XXVII, p. 179 ; *Astroph. Journ.*, vol. I, p. 193.

(3) Rutherfurd : Astronomical observations with the spectroscope, *American Journ. of Science*, janv. 1863.

naissaient indépendamment, dans l'atmosphère de Mars, la présence d'une certaine quantité de vapeur d'eau donnant naissance à un spectre d'absorption. Plus tard, Vogel (1) en Allemagne, le Professeur Secchi (2) à Rome, Maunder (3) à Greenwich, faisaient la même constatation. Toutefois, plus récemment, les recherches de Campbell (4), de Keeler (5), de Jewel (6) sont demeurées complètement infructueuses. Celles de M. Marchand (7), à l'Observatoire du Pic du Midi, sont très discordantes. En 1905, M. Slipher, à l'Observatoire de Lowell, arrivait de son côté à des résultats à peu près négatifs.

La question en était là quand le Dr Wallace publia son livre *Is Mars habitable ?* Négligeant les observations de Huggins, Secchi, Vogel, Maunder, l'illustre naturaliste regardait comme seules probantes les observations négatives de Campbell et de Keeler et insistait sur l'absence de preuves spectroscopiques comme un puissant argument contre la

(1) VOGEL : Beobachtungen auf der Sternwarte zu Bothkamp. Helft I, p. 66. — *Astr. Nach.*, nº 1800. ID. : Untersuchungen über die Spectra der Planeten, 1874, p. 20. — *Astroph. Journ.*, vol. I, p. 203.

(2) Sugli spettri prismatici dei corpi celesti, Rome, 1868 et 1872.

(3) *Monthly Notices*, t. XXXVIII, nov. 1877, p. 34-38.

(4) *Publ. Astr. Pac. Soc.*, t. VI, p. 228 ; t. IX, p. 109 ; *Astr. and Astroph.*, t. XIII, p. 752 ; *Astroph. Journ.*, t. II, p. 28.

(5) *Astroph. Journ.*, t. V, p. 328.

(6) *Astroph Journ.*, t. I, p. 311 ; t. III, p. 254.

(7) *Bull. de la Soc. astr. de France*, 1905, p. 5[illegible]7

présence de la vapeur d'eau. Dans ces conditions, la thèse de l'habitabilité de Mars devenait insoutenable et ses adversaires triomphaient complètement. Mais le triomphe fut de courte durée. Au début de l'année 1905, un télégramme (1) arrivait d'Amérique produisant un vrai coup de théâtre dans les milieux scientifiques anglais, que la question semblait vivement passionner. L'examen d'une série de spectrogrammes obtenus par M. Slipher, le 15 janvier, ne laissait plus aucun doute sur la présence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère de Mars. Le spectre de la Lune avait servi de terme de comparaison et, tandis que la bande d'absorption α manquait totalement sur ce spectre, elle constituait un détail très apparent sur celui de Mars.

IV

C'est ainsi que le spectroscope est venu confirmer les observations visuelles, et l'on a maintenant la preuve qu'il existe dans l'atmosphère de Mars de la vapeur d'eau susceptible à certains moments de se condenser en brouillard et en neige. Mais, pour que ces phénomènes puissent se produire, il faut que la température de l'atmosphère de la planète soit alternativement supérieure et inférieure à la température de la glace fondante, et c'est là un problème qui, en apparence, semble insoluble. On sait, en effet, que la quantité de chaleur rayonnée normalement sur une surface déterminée varie en raison inverse du carré

(1) *Nature*, 28 mars 1908, t. LXXVII, p. 497.

de la distance de cette surface à la source calorifique. Il en résulte que, si la Terre se trouvait tout à coup éloignée à une distance double du Soleil, elle en recevrait quatre fois moins de chaleur et de lumière.

Or, en supposant la Terre à la distance unité, Mars est éloigné en moyenne de 1,53 cette distance, de sorte que la chaleur reçue du Soleil par l'hémisphère boréal martien est à celle de l'hémisphère terrestre correspondant dans le rapport de 43 à 100. Comment alors expliquer, par exemple, la fonte presque complète des neiges formant les calottes polaires de Mars ?

Dans une étude (1) sur *la radiation dans le système solaire*, le Professeur J. H. Poynting a cherché, par l'application de la loi de Stefan, à se faire une idée des températures des différentes planètes. " Imaginons, dit-il, un petit corps noir bon conducteur de la chaleur et placé en plein soleil à la distance de la Terre. Supposons qu'il ait un centimètre carré de section transversale, de façon qu'il reçoive 1/24 de calorie par seconde. Il atteindra bientôt une température telle qu'il donnera exactement autant qu'il reçoit et, puisqu'il est si petit, la chaleur le traversera rapidement, de sorte qu'il sera tout entier pratiquement à la même température. Une sphère de 1 centimètre carré de section transversale a une aire de 4 centimètres carrés, de sorte qu'elle doit émettre, par chaque centimètre carré de sa surface, 1/96=0,0104 calorie par seconde. "

(1) Discours prononcé au meeting de Cambridge de la *British Association*, le 23 août, 1904.

Or, d'après les recherches de Kurlbaum en particulier, on connaît la quantité réelle d'énergie émise par une surface noire ou parfaitement radiante par seconde à 100° C., et par conséquent à une température quelconque. Ces recherches sont basées sur une loi proposée autrefois par Stéfan et d'après laquelle le courant d'énergie est proportionnel à la quatrième puissance de la température comptée à partir du zéro absolu. Les recherches de Kurlbaum ont permis de dresser le tableau suivant de la quantité d'énergie émise par un centimètre carré de surface parfaitement radiante ou "noire" :

TABLEAU II. — *Quantité d'énergie émise par 1 centimètre carré du corps noir.*

TEMPÉRATURE ABSOLUE		CALORIES Grammes d'eau chauffés de 1° par seconde
0°		0,0
100	Ebullition de l'air.	0,000127
300	Surface de la Terre.	0,0103
1 000	Chaleur rouge.	1,27
3 000	Charbon de l'arc.	103
6 000		1 650
6 250		1 930

Si l'on applique ces considérations à la détermination de la chaleur reçue du Soleil par la Terre, et si l'on admet avec Langley que le courant de radiation venant du Soleil et tombant perpendiculairement sur 1 centimètre carré, hors de l'atmosphère de la Terre, doit échauffer 1 gramme d'eau de 1/24 de ca-

lorie, par seconde, on trouve que la chaleur radiée par notre petite sphère noire correspond à peu de chose près à une température de 300° absolus ou 27° C. Placée à la distance de chacune des autres planètes, la température de la petite sphère noire variera nécessairement en raison inverse de la racine carrée de la distance, et l'on obtiendra les nombres suivants :

Tableau III. — *Température d'une sphère noire placée à différentes distances du Soleil*

DISTANCE AU CENTRE DU SOLEIL	TEMPÉRATURE CENTIGRADE	
6 millions de kilomètres	1 200° C.	Fusion de la fonte.
23	327	Presque la fusion du plomb.
A la distance de Mercure	210	Presque la fusion de l'étain.
de Vénus.	85	L'alcool bout à l'air libre.
de la Terre	27	Chaude journée d'été.
de Mars.	30	Froid arctique.
de Neptune	219	Solidification de l'azote.

Ces nombres paraîtront bien près de la réalité si nous considérons que la température moyenne de la Terre est, à 10° près, celle que fournit l'application de la loi de la quatrième puissance. On l'évalue, en effet, généralement à 16 ou 17° C. environ. La différence provient de ce que la Terre est beaucoup trop grande pour que la distribution de la chaleur

par conduction joue un rôle sérieux pour l'égalisation des températures en différentes régions. D'autre part, cependant, la rotation du globe assure une température à peu près uniforme à une latitude donnée et les mouvements de l'atmosphère tendent à distribuer également la chaleur reçue. La Terre doit donc posséder à peu près la température du petit corps noir à la même distance ; mais, comme elle réfléchit une fraction de la radiation solaire, sa température moyenne sera forcément un peu inférieure.

Nous pouvons raisonner de même par analogie pour la planète Mars, en supposant toutefois, ce qui n'est probablement pas, que les conditions de constitution physique du globe martien sont les mêmes que sur la Terre. D'après les considérations précédentes, il faudrait abaisser de 10° environ la température calculée, ce qui donnerait pour la température moyenne 37° à 40° au-dessous de zéro. Pour le professeur Poynting, la température moyenne de la planète ne doit pas différer beaucoup de ces chiffres. " A moins, conclut-il, que cette planète soit très différente de la Terre, sa surface entière est au-dessous du point de congélation ". En somme, pour le professeur Poynting comme pour Fizeau (1), on est conduit à l'hypothèse de l'existence, à la surface de Mars, d'immenses glaciers analogues à ceux de notre globe, mais d'une étendue beaucoup plus considérable encore.

Cette hypothèse est cependant en contradiction

(1) *Académie des Sciences*, séance du 25 juin 1888. — *L'Astronomie*, août 1888.

complète avec ce que nous montre l'observation de la planète. La neige, qui en hiver couvre des étendues considérables, fond presque entièrement au cours de l'été ; on constate souvent la présence de brouillards ou de nuages, et nous avons vu que le spectroscope décèle dans l'atmosphère martienne la présence de la vapeur d'eau. La température doit donc être en général pendant le jour supérieure au point de congélation. Comment expliquer cette anomalie ? Il est vrai qu'on a voulu voir dans les calottes polaires de l'acide carbonique solidifié. Mais nous avons vu plus haut que, d'après M. Lowell, cette théorie paraît bien inadmissible, en raison de la présence constante d'une bande bleuâtre sur les bords de la masse neigeuse.

V

Il faut donc rechercher ce qui peut ainsi relever la température dans l'atmosphère de notre voisine. A la suite de travaux très intéressants, M. Lowell arrive à ce résultat que le pouvoir calorifique réel à la surface de Mars est très supérieur à ce qui existe sur la Terre et doit produire une température moyenne de + 22° C., en supposant Mars protégé, comme la Terre, par une atmosphère dense et très chargée d'eau. Mais l'atmosphère martienne, par suite de sa rareté, ne peut remplir aussi efficacement ce rôle protecteur ; cependant, M. Lowell regarde comme très probable que, tout en étant plus rare, l'atmosphère de notre voisine renferme une plus grande proportion de vapeur d'eau et d'acide

carbonique. Il est ainsi amené à fixer la température moyenne de Mars à près de 9° C. ; c'est presque exactement la même température que celle de la moitié méridionale de l'Angleterre.

Enfin, comme complément de ces recherches, le professeur Lowell trouve que le point d'ébullition de l'eau sur Mars serait environ 44° C., la quantité d'air par unité de surface étant à peu près égale aux deux-neuvièmes de ce que l'on constate sur la Terre, tandis que la densité probable de l'atmosphère martienne est seulement de 63 millimètres, soit le douzième de la densité de notre couche atmosphérique.

La base même de tous ces calculs est trop fragile pour qu'on puisse accorder une grande confiance aux résultats. Mais doit-on, par suite, adopter la conclusion du professeur Poynting, qui, après avoir discuté certains points de l'étude de M. Lowell, affirme que la température de Mars, avec les données fournies par le célèbre astronome américain, reste encore très au-dessous du point de congélation ? " Je pense, ajoute le professeur Poynting, qu'il est impossible de porter la température de Mars à un point aussi élevé que la valeur obtenue par le professeur Lowell, à moins de supposer que son atmosphère possède des qualités entièrement différentes de celles que nous connaissons à notre propre atmosphère. "

En tout cas, l'observation semble bien prouver que la température du sol de Mars est relativement élevée, et c'est à cette conclusion que j'étais déjà

arrivé en 1905 (1). Mais n'oublions pas que tous ces chiffres ne peuvent fournir que des approximations très grossières, étant donné le peu de documents que nous possédons sur l'état de l'atmosphère de la planète. Nous savons seulement que cette atmosphère est plus faible que la nôtre, sans qu'il nous soit possible de dire avec quelque certitude dans quelle proportion. Et cette raréfaction même n'est pas une des moindres difficultés lorsqu'on aborde la détermination de la température de la planète.

Sur la Terre, notre atmosphère relativement dense, chargée de vapeur d'eau et d'acide carbonique, sert de manteau protecteur contre le rayonnement de la chaleur superficielle ; elle emmagasine en même temps une grande partie de la chaleur solaire qui la pénètre. Elle joue encore le rôle de régulateur : c'est par les courants aériens que se fait le transport de calorique des régions équatoriales aux régions polaires.

Or, sur Mars, l'atmosphère, nous l'avons vu, est relativement rare. D'autre part, les grandes masses océaniques qui, sur notre globe, jouent un rôle analogue à celui de l'atmosphère, font complètement défaut sur notre voisine. Il en résulte que la température doit subir des écarts considérables, et théoriquement les différences doivent être énormes entre les régions polaires et les régions équatoriales, et entre le jour et la nuit surtout. Grâce, en effet, à la basse pression qui existe à la surface de la planète, l'eau peut à peine rester à l'état liquide. Pen-

(1) *Rev. gén. des Sciences*, 30 nov. 1906, p. 918.

dant la journée, les rayons solaires la réduisent en vapeur, tandis que le froid brusque de la nuit ou la moindre variation de température doit amener la production de rosée, ou de brumes et de brouillards plus ou moins opaques réfléchissant la lumière blanche. Un froid plus rigoureux précipite la vapeur d'eau en flocons de neige, ou la fait se déposer sous forme de gelée blanche ; différentes régions semblent même en être recouvertes d'une façon continue : ce sont, sans doute, de hauts plateaux. Les neiges polaires elles-mêmes ne sauraient atteindre une forte épaisseur, car la considération d'un été deux fois plus long que les nôtres ne pourrait expliquer la fonte parfois complète des calottes polaires.

Dans ces conditions, la fusion des neiges polaires ne peut pas donner de très grandes quantités d'eau. Miss Clerke (1) était arrivée, par des calculs que nous croyons inutile de reproduire ici, à conclure que l'eau résultant de la fonte des neiges des pôles ne pourrait pas, répartie sur toutes les surfaces sombres, donner plus de *quarante-trois millimètres* d'eau de hauteur. C'est peu, vraiment, pour subvenir aux besoins de la végétation. Il est vrai que M. Lowell (2) proteste énergiquement contre les chiffres de Miss Clerke ; pour lui, la hauteur de l'eau provenant de la fusion des neiges ne serait certainement pas inférieure à *soixante-quinze centimètres*.

Ajoutons qu'un tel débat est parfaitement puéril,

(1) *Edinburgh Review*, oct. 1896 : New Views about Mars.

(2) *Nature*, 19 mars 1908, t. LXXVII, p. 461.

et qu'il nous est actuellement impossible de tenter de pareilles déterminations avec quelque chance de succès. Cependant, la célèbre théorie du professeur Lowell repose entièrement sur cette supposition que toute l'eau nécessaire à la végétation provient de la fonte des neiges polaires. Tel serait, du moins, le résultat de ses observations. Le principal caractère des canaux, et d'une façon générale de la surface de la planète, est certainement la variabilité. Rien, en effet, ne paraît stable sur ce monde voisin ; la teinte des détails, leur intensité, leur visibilité, tout cela paraît soumis à des changements perpétuels. Ces changements s'opèrent, sans doute, en vertu d'une loi qui nous échappe encore, mais que M. Lowell a entrepris d'élucider.

Après avoir réuni tous ses dessins, l'astronome américain fut frappé de ce fait que tous les canaux ne sont pas visibles à la fois, et l'époque de l'apparition de chaque canal pendant l'année martienne paraît d'autant plus tardive que l'objet se trouve plus loin du pôle tourné vers le Soleil ; d'où il résulterait que le développement des canaux serait gouverné par une force synchronique dans son début avec la fusion des glaces polaires. Or, cette force se propage peu à peu, de latitude en latitude, jusqu'au delà de l'équateur. Tels sont les faits que M. Lowell (1) prétend avoir constatés pendant l'opposition de 1903. Quelle explication en donne-t-il ?

(1) *Bulletin de la Société belge d'Astronomie* : Les Cartouches de Mars. — V. également, dans *The Century illustrated Monthly Magazine*, différents articles publiés en 1907 et 1908 sous le titre général : Mars as the abode of life.

Sur la Terre, la végétation, pour apparaître, a besoin de deux facteurs principaux : le soleil et l'eau. L'eau ne fait défaut presque nulle part ; il suffit donc de l'apparition d'un soleil plus ardent au printemps pour voir se manifester la vie végétale. Sur Mars, au contraire, l'eau est excessivement rare, si rare qu'après chaque hiver elle se trouve presque complètement reléguée aux deux pôles, où nous la voyons à l'état solide. Dès lors, pour que les végétaux puissent renaître à la vie, il faut que les neiges et les glaces polaires soient fondues et que l'eau ainsi libérée aille arroser les régions fertiles de la planète. Cette fusion ne peut se produire que sous l'action d'un soleil plus chaud, par conséquent assez élevé au-dessus de l'horizon. Les régions polaires seraient alors les premières à être irriguées et à montrer les traces de la végétation. Puis, peu à peu, cette eau s'écoulerait vers l'équateur, donnant partout naissance, sur son passage, à une vie végétative intense, se traduisant pour nous par l'apparition successive des canaux. Mais, comme aucune loi physique ne peut expliquer l'écoulement de cette eau vers l'équateur, surtout à travers un sol desséché, M. Lowell en conclut que *les taches appelées canaux sont entretenues artificiellement.*

M. Lowell avait espéré confirmer toutes ces vues par l'obtention de photographies du disque de la planète. Malheureusement, au foyer des plus grands instruments, Mars nous apparaît comme un disque bien faible sur les plaques photographiques. Sans contester les résultats obtenus, et qui font grand honneur à la persévérance des astronomes de Flags-



(En bas à droite grandeur du Soleil vu de la Terre)

Comment on peut imaginer un paysage Martien
d'après L'Abbé MOREUX

taff, nous devons avouer que les épreuves, même agrandies, ne peuvent constituer un progrès dans la connaissance de la planète. Ce que l'on voit facilement sur les clichés, ce sont les détails importants, au sujet desquels nulle contestation n'est possible.

Tous les astronomes qui ont étudié la planète depuis quarante ans sont d'accord sur les grandes configurations, les seules que montrent les photographies.

Le dédoublement des canaux, que M. Lowell prétend voir sur ses épreuves, me paraît bien sujet à caution. J'ai eu ses clichés entre les mains et je dois avant tout à la vérité d'affirmer que je n'ai jamais constaté de dédoublement aussi net que sur ses dessins. Il existe bien des canaux élargis, mais aucun n'est vraiment double.

Je n'insisterai pas sur la fragilité des hypothèses basées sur l'examen de la visibilité des lignes fines aperçues par M. Lowell. Il m'a cependant paru opportun de faire connaître dans une vue d'ensemble l'œuvre entreprise à Flagstaff.

VI

Il serait maintenant bien superflu d'essayer de dégager des conclusions certaines relatives à la climatologie de la planète Mars.

L'ensemble des travaux que nous avons exposés, avec la plus grande impartialité possible, nous montre que, dans le domaine de l'Aréographie, tout reste à faire ; nous commençons seulement à en aborder l'étude, nous en sommes aux premières pages.

Cette question d'Astronomie physique est encore loin de recevoir une solution satisfaisante ; les raisons nous en paraissent faciles à concevoir.

D'une part, le sujet se rattache aux problèmes les plus ardus de la Physique moderne, à ceux qui, à peine posés d'hier, soulèvent déjà les plus ardentes polémiques.

D'autre part, une théorie n'est satisfaisante qu'à une condition : celle de grouper autour d'une idée générale un très grand nombre de faits.

Or, il ne faut pas craindre de l'avouer, dans l'étude de la planète Mars, ce sont précisément les faits qui nous manquent ; et par là nous entendons dire les faits scientifiques, rigoureusement constatés et contrôlés.

Cela n'a rien qui doive nous étonner, l'Astronomie est encore bien mal outillée pour étudier un disque apparent aussi faible que celui de la planète Mars ; à chaque opposition, notre science n'augmente donc que d'une infime quantité, et personne ne pourrait prévoir le jour où l'abondance des faits les mieux établis nous permettra d'arriver à d'intéressantes et légitimes conclusions.

Ce n'est certes pas une raison pour abandonner la partie. Ce qui arrive pour l'étude de la planète Mars se produit journellement dans tous les domaines de la science. A mesure que nous serrons de plus près une question, quelle qu'elle soit, nous sommes amenés tout naturellement à traiter les sujets les plus divers ; l'horizon s'élargit dès que nous avançons et nous avons vite fait d'atteindre ce que Lord Kelvin se plaisait à appeler “ les limites de notre science ”.

Comment on a mesuré
la distance
de la Terre au Soleil

L'évaluation précise de la distance de la Terre au Soleil constitue, à vrai dire, le problème capital de toute l'astronomie moderne. Son importance apparaitra sous son vrai jour, si nous disons que de sa solution dépendent non seulement les vraies dimensions du système solaire, mais encore celles de l'Univers que nous connaissons.

La distance du Soleil à la Terre sert en effet à l'astronome d'unité de mesure, si bien qu'une erreur dans l'évaluation de cette grandeur se transmet dans toutes les directions, affectant aussi bien les distances qui nous séparent des planètes de notre propre système que celles des astres les plus voisins, ou celles des étoiles composant les plages étincelantes de la Voie lactée.

Il n'est pas jusqu'au calcul des masses qui ne soit affecté par cette évaluation : la quantité de matière contenue dans un corps céleste est déterminée effectivement à l'aide de la distance, d'après les immortelles lois de Newton, et comme la distance entre

généralement dans les équations à la troisième puissance, la moindre erreur de l'unité linéaire vient troubler les résultats d'une quantité très forte.

Cette unité fondamentale mieux connue nous permettrait aussi une évaluation plus certaine et plus précise du moment de tel ou tel phénomène astronomique.

Ces quelques considérations suffiront pour justifier l'opinion du grand astronome Airy qui soutenait que la distance du Soleil à la Terre est « le plus important problème astronomique » (1).

Mais c'est aussi l'un des plus difficiles, car les quantités qui entrent dans les données sont si faibles que leur détermination exacte exige toutes les ressources de la science moderne.

Au fond, la solution du problème repose entièrement sur la détermination de la *parallaxe* du Soleil, c'est-à-dire sur l'évaluation du demi-diamètre angulaire de la Terre vue du Soleil.

Imaginez un triangle ayant pour base un rayon terrestre et pour sommet le centre du disque solaire : l'angle au sommet sera ce que les astronomes appellent la parallaxe du Soleil.

Au premier abord, la mesure de cet angle ne semble pas d'une difficulté insurmontable. On imagine aisément deux observateurs placés aux deux extrémités d'un rayon terrestre, cette dernière grandeur ayant été plusieurs fois déterminée très exactement. Si les deux observateurs visent le centre du Soleil en même temps, ils pourront, chacun séparément,

(1) Airy, *Monthly Notices,* vol. XVII, p. 210.

déterminer la valeur des angles à la base de notre triangle. L'angle au sommet s'en déduira par là même — ainsi que la distance — et le problème sera réduit à une simple question de trigonométrie élémentaire.

Pratiquement, la somme des deux angles ainsi déterminés égale de bien près deux angles droits et on trouve que l'angle au sommet (parallaxe) est très faible et voisin de neuf secondes d'arc ! Ce qui signifie que la base est très petite comparée à la hauteur du triangle.

Quant un géomètre sur la terre veut mesurer la distance d'un point à un autre inaccessible, il choisit aussi une base mesurée soigneusement et il s'estime bien peu favorisé si cette base n'est que le dixième de la distance totale. Or l'astronome se trouve dans une position autrement critique et difficile, car sa base d'opérations est comprise entre le 1/11 000 et le 1/12 000 de la distance à mesurer.

Notre astronome est en tout point comparable à un arpenteur qui chercherait la distance d'un point éloigné de 16 000 mètres avec une base d'opération de 1 m. 50 environ.

Pour donner une idée de l'erreur introduite dans les mesures, disons que le moindre écart, ne fût-ce que de un dixième de seconde, fausse la distance de un centième en plus ou en moins ; or un dixième de seconde est l'arc sous-tendu par un cheveu vu à 240 mètres !

En supposant la parallaxe égale à 8'',80, ce qui est très près de la vérité, on trouve pour la distance du Soleil : 149 741 000 kilomètres ; et cependant une

variation de 1/20 de seconde donnera une différence de un millier de kilomètres.

On voit qu'il importerait d'obtenir le centième de seconde, mais la méthode directe est loin d'offrir un si beau résultat.

Aussi le problème a-t-il de tout temps été abordé indirectement.

C'est l'histoire de ces méthodes indirectes de détermination, la plupart très ingénieuses, que nous allons retracer brièvement.

Avant l'ère chrétienne, Aristarque de Samos avait imaginé une méthode si ingénieuse et si jolie, qu'elle était digne de réussir. Mais les observations, fondées sur l'examen des phases de la Lune, ne comportaient pas une grande précision, surtout à cette époque. Aristarque avait, en effet, conclu que le Soleil est environ 19 fois plus éloigné que la Lune.

Hipparque, se fondant sur l'observation des éclipses de Lune, ne réussit pas davantage. Ptolémée, reprenant cette méthode, tenta de mesurer la dimension de l'ombre de la Terre à la distance de l'orbite de la Lune, telle qu'on la voit pendant une éclipse. Il obtint ainsi une valeur de 170'', soit 250'' pour la parallaxe solaire.

Plus tard Copernic et Tycho Brahé, à l'aide du même raisonnement et des mêmes observations, ne furent pas plus heureux et obtinrent 2'55'' et 3',0. La dernière de ces déterminations donnerait comme distance du Soleil : 7 400 000 kilomètres et pour le diamètre de cet astre environ 69 000 kilomètres.

En somme, le chiffre de la parallaxe resta le même pendant douze siècles jusqu'à ce que Képler eût dé-

montré que sa valeur ne pouvait dépasser 1", ce qui veut dire que la distance de la Terre au Soleil était reportée à environ 20 millions de kilomètres.

Il y a loin de ces mesures à celles obtenues par Flamsteed et Cassini, entre 1670 et 1680, au moyen d'une méthode nouvelle pour l'époque, la mesure de la parallaxe de Mars (1).

Cette idée de se servir de la parallaxe d'une planète pour obtenir celle du Soleil est une conséquence de la troisième loi de Képler, et il était difficile qu'elle vînt à l'esprit des astronomes avant la date de cette découverte.

Képler était enfin parvenu, après dix-sept années de laborieuses recherches, à découvrir (15 mai 1618) ce qu'il cherchait avec tant d'acharnement : une proportionnalité entre les carrés des révolutions sidérales des planètes et les cubes des distances moyennes au Soleil.

Le plan du système solaire était désormais donné ; il s'agissait d'en trouver l'échelle.

La découverte de Képler ouvrait des champs inexplorés à l'astronomie. Pour ce qui est en particulier de la détermination de la distance du Soleil à la Terre, on conçoit qu'il suffise dès lors d'obtenir la parallaxe d'une planète quelconque.

Supposons en effet que la parallaxe de Mars soit déterminée, nous connaissons exactement la durée respective de la révolution sidérale de la Terre et de Mars. La loi de Képler nous donnera aussitôt le

(1) J. D. Cassini, *Histoire abrégée de la parallaxe du Soleil*, 1772.

rapport des distances de la Terre et de Mars au Soleil. Ce rapport avait déjà été évalué dans les temps anciens d'une façon très exacte. Les distances sont entre elles comme 1 est à 1,52. Si donc nous prenons la distance du Soleil à la Terre comme unité, celle de la Terre à Mars sera 0,52.

La parallaxe de Mars, qui est plus rapproché de nous que le Soleil, sera donc plus grande que celle du Soleil dans ce même rapport de 1 à 0,52. Il suffira, on le voit, d'obtenir la parallaxe de Mars pour avoir immédiatement celle qui correspond à 1, c'est-à-dire celle du Soleil, par conséquent sa distance.

D'autre part, on a des chances de déterminer facilement la parallaxe de Mars, car à son opposition favorable qui a lieu tous les 15 ans, la planète est à peine à 56 millions de kilomètres, c'est-à-dire beaucoup plus rapprochée que le centre de notre système.

Cette méthode offre en même temps un second avantage. Le disque de Mars est un objet autrement facile à observer que le disque du Soleil, et les mesures sont moins affectées des erreurs résultant de l'irradiation.

Ce fut précisément par cette méthode appliquée a une opposition de Mars que Richer à Cayenne, en 1672, de concert avec Cassini à Paris, obtint la première approximation raisonnable de la distance du Soleil. La parallaxe solaire parut alors très voisine de 9'',5. Du même coup le Soleil prenait place à une distance de 138 millions de kilomètres environ.

De ses observations personnelles Flamsteed crut pouvoir conclure à une parallaxe de 10'', ce qui nous

rapprochait à 130 millions, mais la différence insignifiante pour l'époque semblait montrer qu'on était dans la bonne voie.

Cependant quelques notes discordantes s'élevaient encore : L'abbé Picard avait trouvé une valeur exactement égale à la moitié de celle de Flamsteed (parallaxe 20''), soit une distance de 66 millions de kilomètres, tandis que La Hire de son côté soutenait que le Soleil était *au moins* à 219 millions de kilomètres (1), si bien que l'incertitude continuait à être comprise dans d'énormes limites.

En 1676, Halley avait été envoyé à l'île Sainte-Hélène pour y faire des observations astronomiques, et c'est là qu'il put étudier le passage de Mercure sur le Soleil (28 octobre 1677). C'est sans doute à cette occasion qu'il conçut l'idée de faire servir le passage des planètes inférieures à la détermination de la parallaxe. La méthode grossièrement appliquée à l'observation de Mercure donna un résultat si proche de la vraie valeur, que Halley fonda de belles espérances sur une méthode aussi ingénieuse ; et en 1716, il crut pouvoir en exposer le principe (2), proposant son application aux prochains passages de Vénus annoncés pour 1761 et 1769. Il savait bien qu'il ne pourrait lui-même vérifier la valeur de cette méthode nouvelle ; aussi la mentionnait-il *avec prière à la postérité de se souvenir que l'idée venait d'un Anglais.*

(1) J. D. Cassini, *Hist. abrég. de la Parallaxe du Soleil*, 1772, p. 122.

(2) PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS pour 1716.

Entre temps (1752), Lacaille avait fixé la parallaxe à 10'', valeur correspondant à 132 millions de kilomètres. Il semblait qu'on approchât du but. Hélas ! il n'en était rien.

De toutes parts on se préparait à l'observation des passages de Vénus et on en attendait les meilleurs résultats. A l'époque de sa conjonction inférieure, cette planète se trouve assez près de la Terre, à peine à 42 millions de kilomètres ; mais en raison de sa forte inclinaison sur le plan de l'écliptique, elle passe tantôt au-dessus, tantôt au-dessous du Soleil. Dans ces conditions, le voisinage de l'astre brillant rend toute observation impossible. Cependant il peut arriver que Vénus se projette sur le disque solaire ; elle peut se détacher alors comme un point noir facilement observable. Ces « éclipses partielles du Soleil par Vénus », suivant la pittoresque expression de Encke, sont malheureusement très rares. Elles se suivent par paires, à 8 ans de distance et chaque couple est séparé du suivant par des intervalles variant alternativement de 105 ou 121 années environ.

Les deux premiers passages calculés avaient eu lieu en 1631 et 1639 et c'étaient les retours de 1761 et 1769 qui devaient servir à la mesure de la parallaxe.

Le principe de la méthode de Halley est théoriquement simple : il exige deux postes d'observation aussi éloignés que possible en latitude ; pour simplifier, supposons qu'ils soient distants (sur un même méridien de part et d'autre de l'équateur) d'une valeur de 60 degrés ; ils seront donc séparés

exactement par la longueur d'un rayon terrestre. Au moment du passage de Vénus sur le Soleil, la planète située entre la Terre et le Soleil se projettera sur le disque solaire, pour chacun des observateurs, en deux points différents ; Vénus paraîtra décrire des cordes distinctes et inégales et la longueur des cordes sera dans les deux cas déterminée minutieusement au moyen du temps des passages. On pourra donc en déduire la distance angulaire qui sépare ces cordes parallèles.

Nous aurons alors deux triangles semblables ayant pour bases, l'un la distance angulaire des deux cordes, l'autre le rayon de la terre ; et pour hauteurs respectives, le premier la distance de Vénus au Soleil, le second la distance de Vénus à la Terre. Mais évidemment les bases sont entre elles comme les hauteurs. Or le rapport des hauteurs est un nombre connu par la troisième loi de Képler, il est égal à 0,733 / 0,277 ; on pourra donc en déduire la valeur vraie de la distance des deux cordes, puisque le rayon de la Terre est connu ; et, par un calcul élémentaire, l'angle sous lequel un observateur placé au centre du Soleil verrait le rayon terrestre, ce qui est précisément la parallaxe cherchée.

Un phénomène comme le passage de Vénus semblait donc de prime abord offrir une grande certitude pour la fixation de la distance de la Terre au Soleil. Il s'agissait, somme toute, de déterminer la latitude des observateurs d'une façon précise, opération délicate, mais déjà possible à la fin du XVIIIe siècle. Au reste, il n'est pas nécessaire que les observations soient faites en des points exactement dis-

tants de 60 degrés comme nous l'avons admis ; une distance arbitraire ne peut que compliquer les calculs, mais quel astronome recule devant une difficulté algébrique ? En fait, on reconnut que la précision devait être d'autant plus grande que les postes seraient plus éloignés. Restait donc à déterminer les moments exacts des passages. Là était l'écueil que personne n'avait prévu. Vénus offrant à la lunette un disque très appréciable, Halley avait recommandé de noter le moment des contacts extérieurs et surtout l'instant précis où le disque solaire et le disque de Vénus seraient tangents intérieurement ; il comptait sans des phénomènnes d'irridiation et de diffraction qu'il est difficile, même actuellement, de soumettre au calcul.

Lors des passages de 1761 et de 1769, dans la plupart des stations, la planète, au moment des contacts intérieurs, montra un ligament (connu en astronomie sous le nom de *goutte noire*), au lieu de présenter l'aspect d'un disque rond touchant nettement le bord du Soleil ; si bien que le contact réel fut soumis à une incertitude de 10 ou 15 secondes de temps.

Ce ligament ne peut en aucune façon être évité. A l'œil nu, en vertu de l'irradiation, le bord d'un objet brillant est indéterminé. Dans les lunettes, l'image d'un point lumineux n'est jamais un point, mais un disque de diamètre variable suivant les instruments. C'est ainsi que les étoiles nous paraissent d'autant plus petites que l'appareil est plus parfait et plus puissant, mais jamais leur diamètre ne peut être réduit à zéro.

Deux points lumineux allant l'un vers l'autre doivent donc nous paraître se toucher bien avant le moment des contacts, et les défauts de définition augmentent encore le phénomène.

L'expérience du ligament noir est facile à réaliser. Placez le pouce et l'index à 10 ou 15 centimètres de votre œil en les tenant en contact ; dès que vous les séparerez, vous pourrez observer que les deux surfaces sont réunies par une ligne sombre de grande largeur.

L'expérience réussira mieux encore en vous plaçant devant une fenêtre et en faisant passer l'un derrière l'autre deux objets quelconques, votre doigt et un crayon par exemple.

Cette double occasion offerte aux astronomes, à huit années de distance, pour leur permettre de fixer la grande unité astronomique, ne se trouva ainsi d'aucune utilité ; les espérances qu'ils avaient conçues s'envolèrent une à une et le passage de 1769 les laissa grandement désappointés. L'incertitude sur la distance du Soleil que l'on comptait réduire à quelques centaines de milliers de kilomètres restait encore comprise dans les mêmes limites qu'auparavant.

Et cependant rien n'avait été négligé pour assurer la réussite de la campagne.

Poussés par un héroïque dévouement à la science dont Halley avait tant de fois donné l'exemple, les astronomes s'étaient répandus sur toute la terre.

L'un d'eux, entre autres, Le Gentil de la Galaissière, parti de l'Inde au mois de mars 1760 et empêché par la guerre que nous soutenions avec les

Anglais, eut le courage d'attendre pendant huit années à Pondichéry le passage de 1769, risquant ainsi sa position officielle à l'Académie des sciences, où, faute de nouvelles sur son compte, on finit par le remplacer ; perdant son patrimoine qu'il avait déposé entre des mains infidèles ; et, pour comble de malheur, manquant le but de son voyage. Lors du passage de 1761, il n'avait pu, en effet, que constater le phénomène du pont de son navire sans pouvoir l'observer, et en 1769 un ciel chargé de nuages rendit impossible toute observation.

L'abbé Chappe d'Auteroche, en 1769, n'avait pas été plus heureux. Après avoir observé le passage de 1761, en Sibérie, il alla mourir de la fièvre jaune en Californie, le 1er août 1769, à l'âge de 41 ans.

Le P. Hell et Plannmann s'étaient rendus alors, l'un en Sibérie, l'autre en Finlande, pendant que Green, Kook et Solander partaient pour Taïti ; Dymond et Wales pour la baie d'Hudson. Cassini, Messier, Bernouilli, Du Séjour, Maskeline, Dolière, etc., devaient observer, soit à Paris, soit à Londres, soit à Saint-Pétersbourg, et même à Pékin.

Dès qu'on eut rassemblé tous les matériaux, plusieurs mathématiciens se mirent à l'œuvre et combinèrent d'une manière variée les différentes séries des observations. Le résultat fut loin de répondre à leur attente : on obtint en effet une suite de valeurs s'étageant depuis 7'',5 jusqu'à 9'',2, sans qu'on pût décider à quel chiffre il fallait s'arrêter.

En 1822, Encke, alors directeur de l'Observatoire de Seeberg, près de Gotha, entreprit une revision approfondie de tous les travaux accumulés par les

observations des passages de Vénus. Il obtint comme résultat le plus probable, la valeur 8'',5776. Ses conclusions eurent un grand retentissement lorsqu'elles furent publiées en 1824 (1).

La quatrième décimale surtout parut imposante ; la discussion qui avait permis de l'obtenir ayant été laborieuse devait, pensait-on, être à l'abri de tout reproche, si bien que la valeur de Encke resta incontestée et classique pendant des années. La distance du Soleil paraissait désormais fixée à 153 680 000 kilomètres.

La trêve dura exactement trente ans. Le cri d'alarme, suivant l'heureuse expression de Miss Clerke, fut jeté par Hansen, en 1854 ; voici à quelle occasion. Hansen avait constaté l'existence d'un léger déplacement mensuel apparent du Soleil dans le ciel, d'environ 6'',4, dû à ce fait que la Terre et la Lune tournent autour de leur centre de gravité commun. Depuis, on a souvent fait usage de ce mouvement apparent pour déterminer la masse de la Lune par rapport à celle de la Terre, en employant comme donnée la distance supposée connue du Soleil ; mais nous pouvons connaître la masse de la Lune par d'autres moyens, par l'étude des marées en particulier ; nous pourrons donc en déduire la parallaxe solaire en termes de l'équation lunaire du mouvement du Soleil.

Or, il se trouva que les mouvements observés de la Lune ne s'accordaient pas du tout avec la valeur de la parallaxe universellement admise, et la théorie

(1) *Month. Not.*, vol. XV, p. 9.

réclamait une diminution de la distance du Soleil à la Terre d'au moins 6 millions de kilomètres.

En 1857, Hansen reprenait la question sous un autre aspect et montrait que certaines différences entre les positions observées et calculées de Vénus et de Mars s'évanouiraient en modifiant la parallaxe dans le sens indiqué (1).

Ce n'était pas la première fois qu'on faisait intervenir des théories gravitationnelles dans le calcul de la parallaxe solaire. Le docteur Matthew Stewart d'Edimbourg avait conçu l'idée dès 1763 d'appliquer à cette recherche les perturbations causées par le Soleil sur la marche de notre satellite. Son essai était demeuré infructueux (2) ; un peu plus tard Tobias Mayer de Göttingen n'avait pas réussi davantage, mais Laplace dans son *Traité de mécanique céleste* (3) qui fut publié de 1799 à 1825, aborda le problème avec toute l'ampleur désirable.

Sa méthode était fondée sur l'*inégalité parallactique lunaire* : c'est le nom donné à une irrégularité de mouvement dépendant de ce fait que l'action perturbatrice du Soleil sur la Lune diffère sensiblement de ce qu'elle serait si la distance de l'astre central était infiniment grande au lieu d'être réduite à quatre cents fois environ la distance de la Lune à la Terre. Il est difficile d'entrer ici dans les détails de la méthode ; qu'il nous suffise de faire remarquer que,

(1) *Month. Not.*, vol. XXXV, p. 156.

(2) *The Distance of the Sun from the the Earth determined by the Theory of Gravity*, Edimbourg, 1765.

(3) *Œuvres de Laplace*, t. III, p. 326.

grâce à l'attraction solaire, l'intervalle entre la nouvelle Lune et le premier quartier est de 8 minutes plus long que l'intervalle entre le premier quartier et la pleine Lune. Or, cette différence dépendant du rapport des distances respectives de la Terre à la Lune et au Soleil, il suffira d'observer exactement cette différence pour connaître ce rapport. Mais, d'autre part, la distance de la Lune étant connue avec une grande approximation, nous aurons facilement la distance du Soleil. Malheureusement, la théorie qu'on pourrait appliquer si la Lune était un simple point, se heurte à plus d'une difficulté dans la pratique et comporte des sources d'erreurs, bien que la méthode soit en elle-même très parfaite.

Chose assez étrange, par un hasard malencontreux, Laplace avait employé des données imparfaites qui l'avaient conduit au résultat admis par Encke à la suite de la discussion des passages de Vénus.

Cette courte discussion nous aidera à comprendre plus facilement quels troubles les travaux de Hansen apportèrent aux esprits endormis dans la quiétude d'une solution quasi officielle.

Ce fut bientôt au tour de Le Verrier d'entrer dans la lice. En 1849, Le Verrier avait commencé à reprendre les théories des mouvements planétaires et en 1858 (1), il donnait une méthode nouvelle fondée sur les perturbations séculaires apportées par la Terre aux mouvements de Vénus et de Mars, et qui sont surtout la cause des changements de leurs

---

(1) *Comptes Rendus*, t. XLVI, p. 882.

nœuds et de leur périhélie. Ces perturbations qui s'accumulent avec le cours des siècles seront de plus en plus connues par l'observation et nous permettront de déterminer très exactement le rapport entre les masses du Soleil et de la Terre. Mais ce rapport suffit pour calculer la distance du Soleil. On sait, en effet, que la masse du Soleil peut être déterminée en comparant la distance parcourue par la Terre tombant sur le Soleil pendant une seconde (distance mesurée par la courbure de son orbite) avec l'intensité de la pesanteur terrestre ; mais dans ce problème, le rayon de l'orbite terrestre entre comme donnée nécessaire. Si donc, inversement, nous trouvons, par un procédé quelconque, la masse du Soleil comparée à celle de la Terre, leur distance deviendra l'inconnue et nous pourrons la déduire des mêmes équations.

Le Verrier avait une telle confiance en cette méthode qu'il la considérait comme seule digne de valeur ; à ce point, qu'il refusa de vérifier les opérations faites lors du passage de Vénus en 1874. D'après lui, tous les autres moyens n'étaient que travaux dépensés en pure perte. Il n'est pas douteux que la méthode des perturbations soit d'une valeur incontestable et qu'elle constitue vraiment la « méthode de l'avenir », car, selon le mot de Le Verrier lui-même, « elle diffère de toutes les autres en ce qu'elle a *le temps* pour elle » (1) ; c'est bien le cas d'appliquer ici les paroles de Laplace au sujet du procédé des perturbations : « Il est très remar-

(1) *Month. Not.*, vol. XXXV, p. 401.

quable qu'un astronome, sans sortir de son observatoire, en comparant seulement ses observations à l'analyse, puisse déterminer exactement la grandeur, l'aplatissement de la Terre et sa distance au Soleil et à la Lune, éléments dont la connaissance a été le fruit de longs et pénibles voyages dans les deux hémisphères ».

Quoi qu'il en soit, l'application de la méthode de Le Verrier semblait prématurée, car la parallaxe obtenue s'élevait à 8'',95.

Ces résultats, d'accord avec ceux de Hansen, montraient tout simplement que le chiffre de 8'',57 était vraiment trop faible. Plus tard l'évaluation de Le Verrier fut corrigée par Stone qui obtint 8'',91 (1), et Le Verrier lui-même en 1872 adopta 8'',86 (2).

Le calcul repris par Newcomb ces dernières années a donné une valeur plus faible : 8'',759±0'',10. « La petitesse de cette valeur ainsi obtenue, dit Young, est presque aussi embarrassante à l'heure actuelle que la grandeur de la valeur calculée au moyen des passages de Vénus. »

L'année 1862 fournit aux astronomes l'occasion de déduire une nouvelle valeur à l'aide d'une opposition favorable de Mars. Elle conduisait séparément Stone et Winnecke à cette conclusion que la distance du Soleil à la Terre devait être fixée à un peu plus de 146 millions de kilomètres. Mais, à la suite de la campagne organisée en 1862 et à laquelle prirent part un grand nombre d'observatoires dans les deux

(1) *Month. Not.*, vol. XXVIII, p. 25

(2) *Comptes Rendus*, t. LXXV, p. 165.

hémisphères, M. Newcomb qui fit la réduction de tous les travaux donna à la parallaxe une valeur de 8'',855 (1), c'est-à-dire que la distance supposée parut très voisine de 148 millions de kilomètres, chiffre qui prévalut pendant quelques années.

Ce résultat allait recevoir une importante confirmation due à une méthode d'un genre absolument différent de tout ce que l'on avait imaginé jusque là : une méthode purement physique basée sur la vitesse de la lumière.

Les observations des éclipses des satellites de Jupiter qui se font tantôt en avance, tantôt en retard, suivant la position de la Terre sur son orbite, avaient conduit Römer en 1675 à la détermination de la vitesse de la lumière. La solution élégante trouvée par le mathématicien danois, et que tout le monde connaît, repose sur la valeur du rayon de l'orbite terrestre. Dès lors, on conçoit que si les méthodes physiques nous permettent d'évaluer d'une façon précise la vitesse de la lumière, nous pouvons résoudre le problème inverse et connaître ainsi la distance du Soleil à la Terre.

Au temps de Römer il ne pouvait être question de cette dernière méthode, et c'était au contraire la valeur très indéterminée et oscillante de la parallaxe qui fixait la vitesse de la lumière. Depuis, les perfectionnements apportés aux instruments permirent au génie inventif des Fizeau (2) et des Foucault (3)

---

(1) *Wash. Obs.*, 1865, App. II, p. 28.

(2) *Comptes Rendus*, t. XXIX, p. 90.

(3) *Ibid.*, t. XXX, p. 551.

de mesurer cette vitesse d'une façon indépendante et directe. En 1862, Foucault appliqua à ces recherches la méthode des miroirs tournants de Wheatstone et annonça au monde savant que la lumière voyageait plus lentement qu'on ne l'avait supposé (1). La distance du Soleil devait donc être diminuée proportionnellement.

Le temps que met la lumière pour venir du Soleil a reçu le nom d'*équation de la lumière* et on le détermine par l'observation des éclipses des satellites de Jupiter.

Théoriquement, il suffit de multiplier la vitesse de la lumière par ce temps, qui égale 499 secondes 1/2 pour avoir la distance du Soleil indépendamment de toute connaissance des dimensions de la Terre.

Pratiquement, l'approximation n'est guère suffisante car la détermination du moment précis des éclipses des satellites de Jupiter constitue à elle seule un problème presque insurmontable, et d'autre part toute la méthode repose sur cette hypothèse que la lumière voyage dans l'espace interplanétaire avec la même vitesse que dans nos expériences terrestres, après avoir tenu compte du retard connu dû à la réfraction de l'air. Quoi qu'il en soit, le même principe permit d'aborder le problème sous une autre face.

Le rayon lumineux émané d'une étoile compose sa vitesse avec celle de la Terre sur son orbite et la direction dans laquelle nous apercevons l'étoile n'est que la résultante de ces deux mouvements. Ce phé-

(1) *Ibid.*, t. LV, p. 501.

nomène est connu sous le nom d'aberration et fut découvert par Bradley en 1727. Le rapport des vitesses composantes peut grossièrement être évalué de 10 à 10 000 environ, mais il est susceptible de recevoir une détermination précise. La constante de l'aberration déduite de l'observation des étoiles est connue avec une exactitude beaucoup plus grande que l'équation de la lumière et peut être représentée par le chiffre de 20'',47 ; dans notre parallélogramme des vitesses nous connaissons donc la résultante donnée par la constante de l'aberration, l'une des composantes qui n'est autre que la vitesse de la lumière obtenue expérimentalement ; la deuxième composante (vitesse de la Terre par seconde sur son orbite) s'en déduira immédiatement.

Il nous sera dès lors facile d'obtenir la grandeur de l'orbite terrestre et son rayon moyen. Cette méthode donnerait actuellement pour la valeur de la parallaxe 8'',803, nombre très concordant avec les dernières observations d'Eros. Mais n'anticipons pas sur les événements.

A l'époque où nous en sommes restés, bien qu'on ne pût déterminer d'une façon exacte le chiffre de la parallaxe, il y avait un tel ensemble de preuves en faveur de son augmentation qu'une correction s'imposait ; si bien qu'en février 1864, au Meeting anniversaire de la Royal Astronomical Society, la réduction de la distance du Soleil à la Terre fut la première question inscrite au programme. Cette distance fut, à l'unanimité, diminuée de quatre millions de milles. Mais afin de ne pas effrayer le public et pour ne pas enlever tout crédit à l'exactitude des

méthodes astronomiques, on prit soin de bien montrer que ce changement dans la parallaxe correspondait à peine à la largeur d'un cheveu vu à 125 pieds (1).

Bien que l'ensemble des déterminations témoignât qu'on avait eu raison d'opérer ce grave changement, l'incertitude régnait encore sur la vraie valeur à adopter et on comptait sur le prochain passage de 1874 pour lever tous les doutes (2).

D'innombrables précautions furent prises pour écarter toutes les sources d'erreurs ; on imagina des méthodes et des moyens nouveaux ; la chambre noire devait être partout employée et on comptait sur l'impartialité de la plaque photographique pour résoudre le problème. On fit aussi des expériences préliminaires sur des passages artificiels. Bref, chaque observateur eut sa fiche et son équation personnelle. Les résultats ne pouvaient être que merveilleux. Les expéditions répandues sur toute la terre furent favorisées généralement par les conditions atmosphériques.

Le 8 décembre 1874 n'était pas terminé, que de partout on lançait des télégrammes enthousiastes sur les brillants résultats de la campagne. Cet engouement dut, hélas ! bientôt diminuer à mesure que se firent les réductions, et peu à peu, il devint évident qu'il fallait abandonner l'espoir d'une conquête définitive.

Le ligament noir avait sans doute apporté moins

(1) *Month. Not.*, vol. XXIV, p. 103.
(2) *Month. Not.*, vol. XVII, p. 208.

de perturbations qu'on aurait cru ; mais on ne pouvait tout prévoir et l'examen des photographies montra qu'on allait se heurter à une difficulté insurmontable due à l'illumination de l'atmosphère de Vénus : l'anneau lumineux entourant la planète faussait tous les résultats.

Il fallut alors s'avouer que la grande unité de longueur astronomique n'avait rien gagné en certitude par l'effort combiné des observations de 1874.

Quelques mois auparavant, M. Proctor estimait que l'incertitude s'élevait à 2 329 800 kil. (1) et qu'elle serait réduite après 1874 au chiffre de 160 000 kilomètres environ ; or, après le passage, toutes les réductions étant soigneusement faites et contrôlées, le professeur Harkness jugea qu'elle était encore de 2 536 200 kil. (2) ! Le but était donc loin d'être atteint.

Personne cependant ne se découragea ; l'expérience devait servir à quelque chose : il devenait nécessaire de chercher d'autres moyens que les méthodes connues. On allait entrer dans une phase nouvelle d'activité.

Le 5 septembre 1877, Mars se trouvait à une opposition favorable et Sir David Gill entreprit une détermination de la parallaxe par une méthode nouvelle.

A vrai dire, cette méthode avait été recommandée en 1857 par Sir George Airy (3), mais on ne l'avait

(1) *Transits of Venus*, p. 89.

(2) *Am. Journ. of. Soc.*, vol. XX, p. 393.

(3) *Month. Not.*, vol. XVII, p. 219.

jamais bien essayée. Son principe consiste à substituer des observations faites le matin et le soir en un même lieu à des observations simultanées opérées en des lieux éloignés ; la rotation de la Terre étant suffisante pour obtenir un déplacement sensible. Ce procédé est connu aujourd'hui sous le nom de méthode diurne des parallaxes.

Gill se rendit à l'île de l'Ascension pour exécuter ses mesures ; il obtint environ 350 positions de la planète, et tous les Observatoires prirent part à ce travail en déterminant avec la plus grande précision la place des étoiles qui devaient servir de termes de comparaison. En 1884 il donnait 8'',783 ± 0'',015 comme valeur de la parallaxe (1).

On se servit également des petites planètes (2). La première employée dans ce but fut Flora, qui porte le numéro 8, et qui fut découverte par Hind le 18 octobre 1847. Sa distance moyenne au Soleil est de 2,20139, alors que cette même valeur pour Mars est de 1,52369.

Galle avait obtenu à l'aide de Flora 8'',87 en 1875 (3). Des observations de Junon, plus éloignée encore, Gill et Lindsay avaient déduit le chiffre de 8'',77. Sir David Gill, de l'Observatoire de Victoria, en 1894 trouva 8'',80.

Avec la même petite planète en 1897, le docteur Auwers conclut à 8'',82. De nouveau Gill déduisit 8'',80 d'observations de Sapho faites à la même époque, tandis qu'avec cette même planète le docteur

(1) *Mem. Roy. Astr. Soc.*, vol. XLVI, p. 163.
(2) *Astr. Nachr.*, n° 1897.
(3) Hilfiker, *Bern. Mitthellungen*, 1878, p. 109.

Auwers en 1897 trouvait 8'',63. Enfin le docteur Elkin obtint 8'',81 et Auwers 8'',77 des observations d'Iris en 1897.

La moyenne de ces déterminations est 8'',79 valeur probablement très proche de la vérité.

Entre temps on collectionnait de volumineuses données ; les observations de la petite planète Victoria n'occupèrent pas moins de 21 observatoires pendant quatre mois ; les travaux directs de triangulation immobilisèrent à peu près quatre héliomètres pendant la plus grande partie d'une année, et les calculs difficiles qui suivirent durèrent trois ans à l'Observatoire du Cap et remplirent deux énormes volumes (1).

Le résultat final de Gill publié en 1897 fut une parallaxe de 8'',802 équivalant à une distance solaire de 149 454 500 kil.

En 1873-74 de nouvelles expériences sur la vitesse de la lumière permirent à Cornu de placer la parallaxe solaire entre 8'',78 et 8'',85 (2), et en 1882 la discussion du dernier passage de Vénus par les missions belges au Texas et au Chili donna le chiffre de 8'',907 avec une erreur probable de 0'',084 (3).

La discussion par M. Cruls, directeur de l'Observatoire de Rio-Janeiro, des observations brésiliennes du même passage conduit à la valeur de

(1) *Annals of the Cape Observatory*, vol. VI, VII.

(2) *Comptes Rendus*, t. LXXVI, p. 338.

(3) *Annales de l'Observatoire Royal de Bruxelles*, 1884. *Bull. de l'Acad.* t. VI, p. 842

8'',808 (1). Les observations anglaises donnaient une valeur un peu différente en 1882, soit : 8'',832 ± 0'',024 (2).

Une nouvelle méthode de discussion appliquée par M. Orbrecht aux observations photographiques obtenues par les missions françaises sur le passage de Vénus de 1874 (3) a donné 8'',80 ± 0'',06, valeur qui se rapproche beaucoup du chiffre 8'',794 qui a été calculé à l'aide d'une nouvelle détermination de l'équation de la lumière par M. Newcomb.

Tout récemment, à la suite d'une étude approfondie de la constante de l'abberration, Chandler trouva 8'',78 (4).

Enfin Herr B. Weinberg, de l'Université d'Odessa, a réuni environ 130 des valeurs les plus sérieuses de la parallaxe solaire obtenues par différents observateurs avec diverses méthodes depuis 1875. De cette discussion, il ressort qu'on peut adopter 8'',804 ± 0'',00243 comme valeur finale pour cette constante (5).

Telle est la conclusion qui s'impose des travaux du XIXe siècle ; nous allons voir les astronomes du XXe entreprendre une campagne autrement sérieuse et mener à bonne fin la solution d'un problème aussi passionnant.

---

(1) *Annales de l'Observatoire Impérial de Rio-de-Janeiro*, 1887.

(2) *Transit of Venus*, 1882, in-4°. — *Month. Not.*, vol. XLVIII, p. 201.

(3) *Comptes Rendus*, t. CV.

(4) *Astrophysical Journal*, n° 529.

(5) *Astr. Nachr.*, n° 3866.

Le 19 avril 1898, M. Witt, de l'Observatoire Urania, de Berlin, découvrait sur l'une de ses photographies stellaires une petite planète à laquelle on donna dans la suite le nom d'Eros.

La même nuit, quelques heures plus tôt, M. Charlois, de l'Observatoire de Nice, photographiait exactement la même région du ciel. Mais comme il remit à plus tard le développement et l'examen de ses clichés, il ne reconnut la petite planète que deux jours après M. Witt.

Si Eros avait été un corps céleste appartenant au groupe des astéroïdes situés entre Mars et Jupiter, la perte n'eût pas été bien grande pour M. Charlois. Chaque année, en effet, depuis l'application de la photographie à l'examen du ciel, c'est par douzaines qu'on découvre les petites planètes, et la trouvaille d'un astre de ce genre n'est plus un événement. MM. Charlois et Palisa en ont pour leur propre compte découvert des centaines.

D'après la loi de répartition des grandes planètes, il semble qu'un vide existe à la distance Mars-Jupiter. Il y a place pour un monde qui n'existe pas. Cependant, une observation attentive montra à Piazzi un astre minuscule auquel fut donné le nom de Cérès. C'était le 1er janvier 1801. Depuis, les astronomes en ont découvert bien d'autres. Chaque année la liste s'accrut de nouveaux noms, et au 1er janvier 1901, dans l'intervalle d'un siècle, 471 petites planètes étaient découvertes. Toutes celles du voisinage qu'on mentionnera maintenant n'auront qu'un intérêt restreint. Mais alors, pourquoi la découverte d'Eros était-elle aussi inattendue qu'extraordinaire ?

C'est qu'Éros n'appartient pas à ce groupe d'astéroïdes. Il se trouve situé, non entre Mars et Jupiter, mais en deçà de la planète Mars et du côté de la Terre, de telle sorte qu'à certaines époques, il s'approche de nous plus près qu'aucune autre planète grosse ou petite.

A son plus grand voisinage, il n'est qu'à 20 800 000 kilomètres, tandis que Mars dans les mêmes circonstances se trouve encore à 56 000 000 de kilomètres et Vénus à 40 000 000. On comprend mieux par ces nombres la valeur et la portée de la trouvaille de M. Witt.

En elle-même la planète n'a rien de remarquable ; elle mesure tout au plus 30 kilomètres de diamètre, et, dans les plus grandes lunettes, munies de leurs plus forts grossissements, elle n'apparaît que comme un très petit point brillant, sans disque appréciable. Cette petitesse même n'est pas sans avoir de sérieux avantages pour les astronomes. Elle permet soit au télescope, soit sur la plaque photographique, de mesurer la position de l'astre avec une extrême exactitude. C'est ce qui fait d'Éros, à ce point de vue, une valeur non négligeable du système solaire.

Éros et la Terre ne sont pas cependant toujours très voisins. En raison de la différence de leurs temps de révolution, la position des deux planètes change énormément. La Terre revient à son périhélie en une année, tandis qu'Éros met 642 jours à accomplir un tour entier autour du Soleil, de sorte que si nous étions placés au centre du système solaire et que nous regardions les planètes partir d'un même point apparent de la sphère céleste, nous verrions la Terre prendre peu à peu de l'avance sur Éros, à tel point

qu'elle aurait déjà accompli les trois quarts d'une seconde révolution, quand Eros reviendrait pour la première fois seulement à son point de départ.

Au bout de deux années un tiers environ, la Terre rejoint Eros ; mais cette conjonction n'est pas toujours très favorable en ce sens que les points occupés par les planètes sur leurs orbites ne sont pas nécessairement à l'endroit du plus grand voisinage de ces orbites.

Ce n'est que tous les trente-sept ans que se produisent les conjonctions les plus favorables : tous les trente ans à peu près la Terre se trouve donc relativement proche de ce petit monde.

Si les éléments de l'orbite d'Eros n'ont pas varié sensiblement par suite de l'attraction de quelque planète, la dernière conjonction avec distance minima a dû se produire en 1880 ; la prochaine devait avoir lieu seulement en 1917. Il est vrai qu'en 1910 il s'est produit une autre conjonction relativement favorable.

Dès la découverte de M. Witt, on eut l'idée d'employer Eros à la mesure de la parallaxe, et sous l'initiative de M. Loewy, le directeur de l'Observatoire de Paris, on décida à la Conférence internationale de Paris, en 1900, qu'on n'attendrait pas les oppositions beaucoup plus favorables de 1910 et de 1917, mais qu'on profiterait immédiatement des avantages offerts par la situation très proche d'Eros pour essayer une détermination nouvelle de la parallaxe solaire (1).

(1) *Rapport sur l'état de l'Observatoire de Paris pour* 1900, p. 7.

Aussitôt des circulaires furent envoyées à tous les observatoires, leur demandant de prendre part à ce travail. Quarante-sept observatoires de tous les points du globe se déclarèrent prêts. La trajectoire de la planète fut calculée pour la période où elle était proche de nous, et une liste de plus de 700 étoiles placées près de cette trajectoire fut dressée afin d'avoir des étoiles de repère. La position de ces dernières fut déterminée à la lunette méridienne dans treize observatoires : ceux d'Abbadia, de Greenwich, de Koenigsberg, de Lisbonne, de Lick, de Marseille, de Nice, de Paris, de Rome, de Toulouse, de San Fernando, de Strasbourg, prirent part au travail.

Les résultats de ces mesures ont déjà été publiés et ont même servi pour les réductions des photographies prises à l'heure actuelle.

On résolut ensuite de déterminer les positions des étoiles plus faibles qui se trouvent le long de la trajectoire de la planète et qui devaient servir à fixer exactement cette trajectoire. Plusieurs observatoires se partagèrent cette tâche et firent une centaine de photographies.

On avait décidé à l'origine de mesurer toutes les étoiles jusqu'à la douzième grandeur se trouvant dans une zone de 10' de chaque côté de la trajectoire d'Éros. De plus, on devait mesurer sur toutes les plaques contenant la planète toutes les étoiles comprises dans un carré de 20' autour d'elle. Mais le travail était si considérable qu'on reconnut bientôt l'impossibilité de l'exécuter dans son entier. On se contenta de publier une liste des positions approchées

des étoiles récemment employées d'après les rapports des observatoires.

Restait à déterminer la position de la planète au milieu de ces étoiles. Ces déterminations furent faites, soit photographiquement, soit au micromètre à la lunette.

Pour les photographies, on ne se contenta pas de faire une seule exposition sur la même plaque. Dans certains observatoires on fit jusqu'à cinq poses différentes sur le même cliché ! dans l'oculaire du chercheur de la lunette se trouvait un réticule à fils fins formant un petit rectangle que l'on plaçait au centre du champ de la photographie. La première exposition était de cinq minutes avec l'étoile guide à l'angle nord du rectangle ; la seconde, d'une minute avec l'étoile guide à l'angle est ; la troisième, de deux minutes avec l'étoile guide à l'angle sud ; et la quatrième d'une minute à l'angle ouest ; enfin la cinquième exposition, d'une durée de cinq minutes avec l'étoile guide de nouveau à l'angle nord. La première et la cinquième image de l'étoile guide devaient donc être superposées, mais en raison du déplacement d'Eros durant la pose totale, les images de la planète — la première et la dernière — n'étaient plus en coïncidence. Il devenait donc facile d'identifier la planète au milieu des étoiles voisines.

Il y a à peine plus de trois ans que commença cette campagne internationale pour déterminer la distance du Soleil à la Terre, et les résultats à l'heure actuelle sont déjà prodigieux.

Voici comment dans son rapport annuel pour 1903,



La grande lunette méridienne
de l'Observatoire de Paris ::

paru récemment, M. Loewy, directeur de l'Observatoire de Paris, résume les travaux d'ensemble :

« Nous sommes parvenus, dit-il, à terminer la mesure et la réduction de la masse énorme de documents se rapportant à la campagne internationale de 1900-1901 concernant la parallaxe du Soleil. Tous ces résultats figureront en grande partie dans la onzième circulaire dont l'impression est en cours d'exécution. L'Observatoire de Paris était particulièrement tenu, dans cette circonstance, à s'acquitter sans délai des engagements contractés dans la Conférence internationale de 1900 et à fournir à l'œuvre commune la contribution la plus efficace. L'inspection du tableau qui, dans cet ordre d'idées, résume notre activité, permettra au conseil de juger que nous ne sommes pas restés au-dessous de notre tâche :

« 1661 observations méridiennes pour déterminer les positions des étoiles de repère destinées à faire connaître les coordonnées célestes qui correspondent aux images stellaires contenues dans les clichés ;

« 10 858 observations photographiques des étoiles de comparaison, des étoiles de repère et d'astres voisins de la trajectoire d'Eros ;

« 284 positions équatoriales de la planète Eros émanant des divers observatoires associés, et obtenues soit par des mesures micrométriques directes, soit par l'emploi de la méthode photographique, où, dans les deux cas, les astronomes se sont efforcés d'atteindre le plus haut degré d'exactitude, fournira une occasion exceptionnelle de se rendre compte de

la valeur relative de ces deux modes d'opération.

« Il me semble de toute opportunité de fournir quelques renseignements sur l'état d'avancement de cette importante entreprise internationale, car on n'a pas cessé d'émettre des doutes sur la possibilité de faire paraître, dans un délai admissible, toute cette quantité énorme de documents accumulés par un si grand nombre de collaborateurs. L'histoire de la science dans le passé semblait bien, en effet, autoriser des inquiétudes à ce sujet. Je suis heureux de pouvoir dissiper ces craintes et d'affirmer que l'apparition de la onzième circulaire va encore apporter un nouveau contingent considérable de matériaux homogènes et susceptibles d'être immédiatement utilisés sans qu'on soit contraint de se livrer à ces longs et fastidieux travaux préliminaires, toujours nécessaires autrefois pour rendre comparables les diverses données. Une seule publication supplémentaire suffira probablement pour mettre à la disposition des savants la presque totalité des travaux effectués dans cette mémorable entreprise qui a si bien mis encore une fois en lumière l'esprit de solidarité qui, depuis plus d'un siècle, anime les astronomes de tous les pays (1) ».

Ainsi que l'annonçait M. Loewy, la onzième circulaire vient de paraître ; elle forme un volume in-4° de plus de 400 pages. La première était de 6 pages ; la cinquième de 14 ; la septième de 67 ; la neuvième

---

(1) *Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour* [illegible], par M. Loewy, directeur de l'Observatoire p. 19.

de 200, et la dixième, parue l'année dernière, avait 220 pages de texte, plus un appendice de 68 pages de table.

On peut le dire sans injustice pour personne, c'est M. Loewy qui a assumé la responsabilité de cette tâche gigantesque et qui a donné à cette œuvre tout son crédit. Nous ne devons pas oublier non plus que c'est l'Académie des Sciences de Paris qui supporte les frais considérables de cette publication.

Et maintenant, quels seront les résultats?

Il serait téméraire de donner des conclusions positives sur la valeur de la parallaxe solaire. Il faut attendre les réductions de toutes les observations, mais d'ores et déjà on peut faire quelques prévisions sur les chiffres qu'on obtiendra.

On a commencé la réduction d'un certain nombre de photographies. C'est ainsi que M. Wilson, de Northfield Observatory, a déjà publié les résultats qu'il a obtenus d'après les mesures prises sur 67 clichés posés pendant la période de l'automne et de l'hiver 1900-1901 (1).

« La seule conclusion que nous puissions tirer de cet examen, dit-il, est que la parallaxe solaire est très voisine de 8'',80, probablement entre 8'',80 et 8'',81. Il ne serait pas convenable cependant de tirer une solution rigoureuse de ces seules données, car il est nécessaire de réunir une masse d'observations beaucoup plus grande afin d'éliminer plus complètement les erreurs accidentelles. »

M. Hinks, de Cambridge Observatory, a publié

(1) *Popular Astronomy*, 1904, mars.

dans les MONTHLY NOTICES de la British Royal Astronomical Society les résultats d'une réduction des mesures de 295 photographies d'Eros fournies par neuf Observatoires. Il a obtenu comme valeur de la parallaxe solaire 8'',7966 ± 0'',0047, ce qui donnerait, dans le cas d'une erreur positive, 8'',8013 (1).

De toutes façons les deux valeurs diffèrent peu l'une de l'autre. Il est aussi intéressant de noter que ces résultats concordent très bien avec ceux obtenus par le docteur Weinberg, comme moyenne de toutes les observations depuis 1825 : 8'',801 ± 0'',0043, ainsi qu'avec ceux obtenus par le docteur Gill au cap de Bonne-Espérance, d'après les mesures héliométriques des astéroïdes Victoria et Sapho en 1889 (2).

Il est donc assez facile de calculer entre quelles limites est comprise la distance du Soleil à la Terre.

En supposant que 8'',80 est la vraie parallaxe et que 6 377 kilomètres est la valeur du rayon équato-

(1) *The Observatory*, sept. 1905. — *Monthly Notices*, juin 1904.

(2) L'héliomètre, instrument employé pour mesurer des distances angulaires depuis quelques minutes jusqu'à un ou deux degrés, est un des plus importants parmi les instruments modernes de précision. Il avait servi au début à mesurer le diamètre du soleil, de là son nom ; il remplace avantageusement les micromètres filaires.

C'est un micromètre à double image, obtenu en divisant l'objectif d'une lunette suivant un diamètre. La partie supérieure est fixe, tandis que la partie inférieure peut glisser sur la première et le déplacement est mesuré par un tambour gradué.

rial de la Terre, la distance du Soleil est donnée par la proportion suivante :

$$d : 6\,377 :: 1 : 8{,}80 \sin 1''$$

Le calcul donne pour valeur de *d* : 149 471 000 kilomètres. En adoptant un rayon de 6 378 kilomètres, d'après Clarke, on aurait 149 494 000 kilomètres.

Si la parallaxe atteignait 8'',81, la distance serait diminuée de 170 000 kilomètres. Il y a donc encore une incertitude de 90 000 kilomètres sur la distance exacte du Soleil à la Terre.

En somme, lorsque les astronomes mesurent cette distance, ils obtiennent un résultat plus précis que nous pourrions nous flatter de l'obtenir en mesurant à l'aide de notre mètre la largeur de notre chambre.

Songez en effet qu'une erreur de 90 000 kilomètres sur 149 471 000 kilomètres, c'est exactement la proportion de 1 à 1660. Pourrions-nous, en mesurant la largeur de notre fenêtre, supposée égale à 1m66 environ, prétendre obtenir cette dimension à *1 millième près ?* Quel est le géomètre qui, avec une chaîne d'arpenteur, mesure une base de 1660 mètres à un mètre près?

Et cependant c'est l'exactitude avec laquelle nous pouvons apprécier la distance du Soleil, et l'incertitude sera encore diminuée de moitié quand nous pourrons recommencer la campagne de 1900-1901. La distance du Soleil sera connue à 12 000 lieues près. C'est un résultat digne des efforts tentés dans cette gigantesque entreprise.

La Vie et la Mort du Soleil

Des milliards de cratères en ignition, d'où s'échappent des panaches tordus de vapeurs brûlantes ; un océan de feu vomissant des tonnes de projectiles au milieu d'éclairs fulgurants ; une tempête assourdissante où font rage toutes les forces déchaînées de la nature ; un éblouissant chaos où se mêlent les éléments chimiques confondus ; une déflagration perpétuelle de milliards de tonnes d'explosifs lançant leurs produits de combustion à une distance plus grande que l'intervalle nous séparant de la Lune ; tout ce que l'imagination la plus fantastique, la plus échevelée peut concevoir dans l'ordre infernal : telle apparaît la surface aveuglante du Soleil aux yeux éblouis de l'astronome contemplant la fournaise solaire derrière les lentilles habilement disposées de ses télescopes.

Un incendie, dévorant chaque minute un million et demi de Terres comme la notre, rayonnant la chaleur obtenue par la combustion de 700 millions de milliards de tonnes de charbon, et cela depuis des millions d'années, telle est la puissance incroyable de l'ardent foyer qui verse aux planètes et à la Terre le bienfait de ses vivifiants rayons.

Devant ces chiffres formidables que les phénomènes terrestres n'ont pas acoutumé de placer sous

nos yeux, en face de ce gaspillage inusité d'énergie, devant cette folle prodigalité, le profane reste anéanti et son esprit ne sait ce qui doit davantage l'étonner, ou de ces chiffres dont l'énormité confond nos sens, ou de la puissance des méthodes qu'utilise l'astronome pour peser les mondes, supputer leurs distances, mesurer leur grosseur, prédire leurs positions futures, ou même, remontant la série des âges, reconstituer l'histoire de leurs successives révolutions.

Les problèmes que nous pose le Soleil ne datent pas d'aujourd'hui ; ils sont liés au développement de toutes les branches de la science, et j'oserai dire — peut-être parce que j'ai passé une partie de ma vie à les étudier — ils sont de ceux qui intéressent le plus l'humanité.

Comment a-t-on pu apprécier la chaleur du Soleil ? Où cet astre central, 1 300 000 fois plus gros que la Terre, puise-t-il son énergie ? Quel est l'âge probable de ce brasier nous inondant de ses feux, à près de 150 millions de kilomètres de distance ? Comment a-t-on pu retracer son histoire passée ? Est-il parvenu au plus haut stade de son développement ou au déclin de sa vie ?

Autant de questions auxquelles nous allons essayer de répondre.

Procurons-nous un thermomètre extrêmement sensible, dont le réservoir sera noirci afin d'absorber complètement la chaleur solaire, et, au moyen d'un ballon sonde, portons l'instrument dans les couches élevées de l'atmosphère, régions sereines où le Soleil darde ses rayons sous un ciel perpétuellement transparent. Supposons que notre thermomètre ex-

pose au Soleil une surface de *un* centimètre carré : il est bien évident que l'élévation de température constatée en un temps donné nous permettra d'évaluer immédiatement, par une simple multiplication, la quantité totale de chaleur que la surface terrestre reçoit dans le même temps.

La moyenne des expériences, fort délicates d'ailleurs, montre que le Soleil envoie par minute à la Terre, sur chaque centimètre carré exposé bien en face de lui, une quantité de chaleur suffisante pour augmenter de *un degré* la température de *deux grammes* d'eau. C'est peu, direz-vous ; et cependant, si vous calculez le nombre de centimètres carrés contenus dans un cercle ayant le diamètre de la Terre, vous verrez que la puissance calorifique du Soleil est énorme.

Plus d'un inventeur a déjà esayé de l'utiliser.

Le jour où l'homme parviendra à capter la chaleur solaire, il n'aura que faire de la houille noire et de la houille blanche ; le calcul indique en effet que, mise en réserve, cette chaleur alimenterait chaque année un nombre de machines à vapeur dont la puissance totale ne fournirait pas moins de 300 000 milliards de chevaux !

Et ces nombres ne sont rien en comparaison de toute la chaleur émise par l'astre-roi. De l'intensif rayonnement qu'il lance dans toutes les directions, les planètes ne captent qu'une très faible portion. La Terre, pour son propre compte, n'en intercepte que la demi-milliardième partie. Faisons en effet le calcul du total.

Nous connaissons la grosseur du Soleil ; les mesu-

res récentes portent son diamètre à 109 fois celui de la Terre, soit 1 390 450 kilomètres. Divisons par 2, nous aurons le rayon de cette grosse boule de feu suspendue dans l'espace ; nous trouvons 700 000 kilomètres en chiffres ronds.

Ainsi, la surface du Soleil est à 700 000 kilomètres de son centre, alors que notre minuscule planète s'en trouve à 149 400 000 kilomètres, c'est-à-dire 215 fois plus loin en moyenne.

Puisque lumière et chaleur diminuent en proportion du carré de la distance, on voit que la surface terrestre reçoit :

215 × 215 = 46 225 fois moins de chaleur qu'elle n'en recevrait si elle était sur le Soleil.

Inversement, à la surface du Soleil, la Terre recevrait 46 225 fois plus de chaleur que dans la position éloignée où elle se trouve ; et comme la surface terrestre est contenue 11 880 fois dans la surface du Soleil, une simple multiplication des deux derniers nombres nous donnera immédiatement l'énergie totale de la radiation.

Toute la chaleur dégagée par l'ardente fournaise vaut donc : 46 225 × 11 880 = 549 153 000 fois celle que nous en recevons.

Cinq cent millions de fois la chaleur captée par la Terre ! Vous faites-vous une idée de ce que cela représente ? En aucune façon. Traduisons donc en un langage plus intelligible.

Imaginons une gigantesque lentille capable de concentrer toute l'énergie calorifique solaire sur notre globe terrestre, que nous réduirons à l'état de glace pour la circonstance ; un quart d'heure après,

l'énorme bloc serait fondu ; moins de deux heures plus tard, l'eau de fusion serait réduite en vapeur à 100 degrés.

Cinq mois suffiraient au Soleil pour fondre, avec la même extraordinaire facilité, toutes les planètes réunies en un seul bloc de glace représentant le poids de 445 Terres comme la nôtre. Trois siècles seraient à peine écoulés que la chaleur de l'astre transformerait en vapeur une boule d'eau glacée, de volume équivalent au sien.

Voulez-vous une autre comparaison ? Imaginez une immense colonne cylindrique de glace de 74 mètres de diamètre et projetez-la sur le Soleil à la vitesse de la lumière : 300 000 kilomètres par seconde. La fusion aura lieu régulièrement au fur et à mesure de la chute du cylindre sur la surface ardente du Soleil !

Tous ces chiffres nous prouvent que cette surface doit posséder une température considérable. Et c'est bien ce que l'on constate expérimentalement. En utilisant les procédés employés sur la Terre par nos ingénieurs pour déterminer à distance la température effective d'une fournaise, les physiciens se sont tous accordés, depuis une vingtaine d'années, pour attribuer à l'enveloppe nuageuse incandescente du Soleil une température double environ de celle que nous obtenons dans nos fours électriques et qui ne dépasse pas 4 000 degrés.

Les nuages incandescents du Soleil, très semblables comme aspect aux cirrus de nos ciels pommelés, possèdent donc une température de 7 000 à 8 000 degrés quelquefois moins, parfois un peu plus, suivant

l'état d'exaspération des réactions chimiques dont ils sont le siège incessant.



Pendant longtemps l'humanité pensante a cru en effet à l'existence d'un Soleil sans défaillance et d'une admirable sérénité. Aujourd'hui, nous savons qu'il rentre dans la catégorie des étoiles variables.

Tous les onze ans, à peu près, cette dépense formidable d'énergie, dont nous avons donné l'idée, semble avoir épuisé les forces du monstre ; le calme renaît, les vagues de feu abaissent leurs sommets étincelants, la chaleur diminue.

Toutefois, ce calme relatif n'est que le précurseur d'orages terribles ; sous la puissante étreinte des vapeurs lourdes précipitées de la haute atmosphère solaire, les gaz internes emprisonnés ont acquis de formidables pressions. Entre la masse intérieure bouillonnante et les couches élevées, c'est un combat sans trêve. Mais la lutte est inégale ; peu à peu la chaleur s'accroît, l'enveloppe se déchire, des *taches sombres* apparaissent où tous les éléments sont volatilisés ; pendant quatre années et demie, ces taches augmentent en nombre comme en étendue ; tempêtes effrayantes qui submergeraient en quelques secondes toutes les planètes de notre système, où mille Terres comme la nôtre feraient naufrage ; creusets sans fond où les granits et les métaux les plus durs seraient instantanément volatilisés.

Tout ceci n'empêche pas le Soleil d'avoir en gros une constance calorifique remarquable et c'est préci-

sément là qu'il faut chercher la cause de l'invariabilité de nos climats depuis les temps historiques.

Aussi loin, en effet, que nous pouvons remonter dans les annales de l'humanité, nous voyons que, sur la Terre, il existe des limites que chaque espèce végétale ne franchit pas. « La culture de l'olivier, comme arbre de rapport, est restée confinée aujourd'hui en France entre les mêmes limites qu'aux temps où Jules César guerroyait dans les Gaules. En Egypte, en Palestine, la culture du dattier donne des fruits mangeables ; mais un degré de moins dans la température de l'été ferait rejeter ces fruits. La vigne y donne encore du vin, mais un degré de plus ferait abandonner cette culture. Eh bien, les choses en étaient au même point du temps des Pharaons. Conclusion : aussi loin que remontent les témoignages historiques, la chaleur du Soleil n'a pas varié. »

Mais alors, par quel mécanisme le Soleil arrive-t-il à maintenir constante sa température ? M. Faye, auquel nous empruntons ces lignes, a tenté de nous en fournir l'explication.

On pourrait tout d'abord imaginer un Soleil construit sur le modèle de nos foyers terrestres et se consumant à notre profit, un Soleil formé de matériaux combustibles, comme de l'anthracite par exemple ; mais dans ces conditions, il est facile de montrer que semblable fournaise, malgré son énorme volume, durerait à peine 5 600 ans.

L'explication est moins simple : à l'intérieur du Soleil, en raison des hautes températures, les substances ne peuvent subsister qu'à l'état gazeux, et chaque composé est dissocié en ses principes consti-

tuants. Mais ceux-ci, grâce à leur légèreté, vont gagner les couches extérieures plus froides.

Chaque molécule d'oxygène, par exemple, en arrivant à la surface, pourra donc à nouveau se combiner avec la molécule métallique dont la chaleur l'avait séparée. Cette combinaison chimique donnera lieu à un dégagement calorifique et lumineux ; à peine, cependant, l'association sera-t-elle accomplie que déjà, la pesanteur aidant, le corps nouvellement produit se replongera dans les masses inférieures et les mêmes phénomènes recommenceront.

Tout cela est très plausible, mais, à y regarder de plus près, nous nous apercevons que le problème est loin d'être résolu. Un tel mécanisme, s'il rend compte de la constance de la radiation pour un temps très court, ne saurait durer indéfiniment. Sans cesse l'énergie se dissipe ; des molécules, se replongeant des milliards de fois dans la masse interne et brûlante du Soleil, finissent par épuiser la source calorifique, aussi grande soit-elle. Bon gré mal gré, l'astre du jour se refroidit, lentement sans doute, mais très sûrement.



Alors, nouvelle question : depuis combien de temps le Soleil se refroidit-il et pendant combien de siècles encore pourra-t-il entretenir la vie terrestre ?

Une science nouvelle, la Thermodynamique, va essayer de nous répondre. Nous savons que tout choc engendre de la chaleur. De même qu'on échauffe un morceau de fer en le martelant, de même on augmente la température d'une plaque d'acier en la

bombardant de projectiles. Cette transformation de tout phénomène mécanique en chaleur a été si bien étudiée, qu'au regard du physicien, élever un poids de 425 kilogrammes à un mètre de hauteur ou ajouter un degré de plus à un litre d'eau, c'est fournir la même dépense d'énergie, accomplir le même travail. Il y a là, pour ainsi dire, deux effets différents d'une cause unique, et c'est ce qui nous permet, dans les calculs, de passer de l'un à l'autre.

Cette base fondamentale de la thermodynamique va nous permettre d'apprécier à leur juste valeur les différentes sources d'énergie en œuvre pour la conservation de notre Soleil.

L'espace céleste est sans cesse sillonné de météores. Comme la Terre, le Soleil doit recevoir des poussières cosmiques, bolides, météorites, étoiles filantes ; et nous savons que des corps de ce genre, souvent fort pesants, arrivant des profondeurs interstellaires, acquièrent, au moment de leur chute sur le Soleil, une vitesse énorme de 613 kilomètres par seconde.

L'apport de chaleur résultant d'une telle pluie pourrait donc n'être pas négligeable. Toutefois, le calcul montre que pour entretenir la radiation actuelle de l'astre du jour, c'est-à-dire pour empêcher celui-ci de perdre chaque année deux degrés de température — à supposer que sa chaleur spécifique égale celle de l'eau — il faudrait admettre une chute de un kilogramme de météores par heure et par mètre carré de la surface du Soleil ; et cela ne représente pas moins de :

147 000 000 000 000 000 kilogrammes,

soit 147 trillions de tonnes de météores par jour ! Et si cette réserve venait à s'épuiser, le Soleil, à l'instar de Saturne que la légende nous montre dévorant ses enfants, n'aurait plus que la suprême ressource d'absorber ses planètes l'une après l'autre. Sacrifice bien inutile, au surplus, quand on calcule que la chute de notre propre Terre ne saurait qu'allonger d'un siècle la durée du brasier solaire.

En admettant cette hypothèse, imaginée par Mayer, vers 1848, il faudrait tabler sur un accroissement continu de la masse du Soleil, donc sur une diminution de notre année de près de trois secondes par an. Or, les astronomes, en supputant les observations des phénomènes célestes enregistrés par les anciens, ne constatent rien de semblable.

Toutefois, l'idée de Mayer fit son chemin et Helmholtz parvint à la modifier d'une très ingénieuse manière. Il supposa que la formation du Soleil, comme celle des planètes d'ailleurs, dérive d'une immense nébuleuse ronde s'étendant dix fois plus loin que Neptune, la dernière planète connue de notre système, soit à 45 milliards de kilomètres. Dans cette sphère aux proportions fantastiques, diffusons toute la matière du Soleil — celle des planètes est négligeable en comparaison — nous obtiendrons un milieu si léger que le vide des ampoules à rayons X serait encore 140 000 fois plus dense. Même dans cet état de raréfaction inimaginable, un myriamètre cube contiendrait néanmoins 5 217 grammes de substance.

Sous l'empire de l'attraction, tous ces matériaux vont tomber vers le centre et y développer un puis-

sant foyer de chaleur. Helmholtz a montré que l'énergie calorifique ainsi engendrée aurait été de 20 millions de fois la dépense annuelle du Soleil. Conclusion : la source calorifique en action dans la masse solaire fonctionne depuis 20 millions d'années.

Tel serait le bilan du passé ; mais il fallait aussi fixer celui des gains pour l'avenir. Helmholtz le découvre dans la contraction actuelle du Soleil. De même, en effet, qu'on développe de la chaleur par des chocs répétés, de même on échauffe un gaz en le comprimant. Si le diamètre du Soleil diminuait de 76 mètres par an, cela lui suffirait pour réparer ses pertes. Or, à la distance où nous sommes de l'astre central, une semblable diminution correspond à une réduction de un dixième de seconde d'arc en 1 000 ans ; elle aurait pu avoir lieu depuis le commencement des observations au télescope, personne ne saurait encore s'en apercevoir.

Newcomb a repris les calculs avec des données plus modernes et son avis est qu'un pareil phénomène amènerait une diminution de moitié du diamètre solaire en 7 millions d'années.



A peine ces théories étaient-elles lancées, que les critiques vinrent du côté où personne n'aurait pu les attendre.

La radiation solaire et son histoire sont liées au développement de la vie sur la Terre. Vingt millions d'années pour embrasser les phénomènes géologiques depuis l'apparition des premiers organismes,

parurent aux naturalistes un cadre trop étroit ; ceux-ci poussèrent les hauts cris et exigèrent cent millions pour le moins.

En fait, quand on songe à l'histoire passée du globe terrestre, à ces hautes chaînes calédonienne et hercynienne semblables aux grands massifs alpins et qui cependant disparurent, rabotées par les agents atmosphériques ; quand, multipliant même par dix la puissance de l'érosion — aux périodes où des pluies diluviennes menaient, suivant l'expression de M. de Lapparent, le deuil de la terre ferme — on ne compte pas moins de 27 millions d'années pour faire ainsi disparaître la grande chaîne des Alpes... les calculs de Mayer et de Helmholtz semblent mesquins.

Plus d'un astronome en convint et presque tous les travaux contemporains décelèrent la louable intention d'introduire dans les calculs des données propres à augmenter les nombres obtenus.

En faisant toutes sortes d'hypothèses accessoires sur l'état de la matière à l'intérieur du Soleil, sur la densité des régions centrales, sur la température, sur les pressions, etc... on arrive en certains cas à augmenter les nombres de Helmholtz. C'est ainsi que lord Kelvin parvenait à fixer pour l'âge du Soleil un nombre respectable de 50 millions d'années. Quelques autres trouvèrent un peu moins. Tout dépend aussi de l'étendue de la nébuleuse primitive, de sa forme et de son état primordial. La science ne nous donnant rien de positif à ce sujet, les imaginations continueront à galoper bride sur le cou.

La solution n'est peut-être pas là où nous la cherchons : tel fut le premier enseignement que nous

fournit la découverte du radium. Entre autres particularités, cette curieuse substance possède la bizarre propriété, en se transformant sans cesse, d'émettre constamment de la chaleur. Que le Soleil renferme des substances radioactives, cela ne fait aucun doute ; or il suffirait que chaque kilogramme de la masse solaire contînt deux milligrammes de radium pour assurer au Soleil la réparation de ses pertes. Malheureusement, objectera-t-on, ce dégagement de chaleur n'est pas éternel ; au bout de 2 000 ans, le radium est presque complètement détruit. Oui, mais il peut s'en former d'autre au sein de la masse solaire ; nous savons maintenant que le radium est un produit de transformation de l'uranium qui, lui, semble évoluer très lentement.

« Nous ne pouvons cependant pas accepter une déduction semblable sans être contraints à une autre hypothèse secondaire. Il faut admettre, en effet, que la chaleur se crée de rien ! » Ainsi parle le savant Arrhénius, et il a en partie raison.

Mais l'histoire du radium est bien propre à nous rendre prudents. Écoutons Henri Poincaré disserter sur ce sujet : « Malgré ce que cette théorie (celle du radium appliquée au Soleil) a d'hypothétique et de prématuré, elle suffit à nous convaincre que les chiffres de lord Kelvin et de Helmholtz, qui refusent au Soleil un âge supérieur à 50 millions d'années, ne doivent pas être acceptés sans les plus expresses réserves. Un fait inconnu de Helmholtz suffit pour que son raisonnement perde sa force probante ; il y a sans doute beaucoup d'autres sources de réser-

voirs d'énergie que nous ne pouvons pas plus soupçonner que Helmholtz ne soupçonnait le radium. »

Méfions-nous donc des théories purement mécaniques ; ce ne sont, tout au plus, que prétextes à calculs sans bases sérieuses ; correctement appliquées, comme on l'a fait récemment, elles tendraient même à écourter par les deux bouts la vie de notre Soleil.

Encore une fois, la solution n'est pas là ; elle est tout entière dans la constitution intime de la matière, dont le radium nous a permis d'entrevoir la mystérieuse complexité. L'atome est bien loin d'être l'élément insécable et ultime des anciens chimistes. Toutes les expériences modernes s'accordent à nous le montrer comme formé de plusieurs milliers de corpuscules. Si nous ajoutons que, semblables aux météores composant l'anneau de Saturne, ces particules d'une infime petitesse tournent autour d'une sphère centrale avec des vitesses de révolution leur faisant accomplir des milliards de tours par seconde, vous comprendrez que ces édifices atomiques, lorsqu'ils viennent à se désagréger, constituent des sources d'énergie formidables.

Par là même aussi, nous concevons qu'en regard des composés chimiques s'élaborant au fond du gigantesque creuset solaire, nos explosifs les plus violents ne soient que jouets d'enfant.

Même à la distance où nous sommes du Soleil, nos lunettes puissantes, munies de spectroscopes, nous permettent d'assister aux orages terribles qui accompagnent ces genèses titanesques.

Au moment où le ciel du Soleil s'assombrit en se couvrant de *taches*, les gaz internes, comprimés à

des millions d'atmosphères, parviennent çà et là à crever la lourde cuirasse qui les étreint ; bientôt la chaudière éclate ; des poussées violentes soulèvent les couches superficielles et à chaque instant des masses formidables explosent avec fracas : ce sont les *protubérances* solaires, éruptions fantastiques où tous les métaux sont volatilisés, jets puissants dont les sommets atteignent de prodigieuses hauteurs. L'orage gronde alors au-dessus de l'épouvantable fournaise, des éclairs fulgurants teintent de pourpre ces immenses feux d'artifice que nous contemplons stupéfaits dans le calme de nos observatoires et dont les pièces fusent au milieu du grandiose incendie, à cinq ou six cent mille kilomètres d'élévation.

Ces effroyables tourmentes, où des éléments déjà semblables à ceux de notre chimie terrestre se mêlent aux vapeurs hydrogénées, nous avertissent que notre Soleil traverse actuellement cette phase intermédiaire entre une jeunesse désordonnée et la froideur de la vieillesse, apanage des astres rouges à leur déclin. Notre grosse étoile jaune représente donc la sérénité de l'âge mûr et, à tout prendre, autant que la science puisse donner son avis en ces questions délicates, il semble bien qu'il faille accorder encore quelques dizaines de millions d'années de vie à ce flambeau aux rayons duquel les destinées de la Terre sont suspendues.

Si notre globe meurt de sa bonne mort, il périra donc par le froid dans un avenir fort lointain ; mais, d'ici là, une foule d'autres dangers menacent l'humanité.

Le Soleil, nous le savons, emporte avec lui dans





Deux types :: :: :: ::
de Protubérances Solaires

l'espace son cortège de planètes. Nous volons ainsi vers la constellation de la Lyre avec une vitesse trente fois plus rapide que celle de nos obus au sortir du canon.

Dans ce grand voyage intersidéral commencé depuis quelque cent millions d'années, notre Soleil ne va-t-il pas heurter quelque étoile, soleil noir ou incandescent, peu importe ?

Le fait ne serait pas inouï et les annales célestes ont enregistré plus de vingt cas de ce genre depuis que l'humanité tourne ses regards vers la voûte étoilée.

Sans doute, en raison de l'immensité qui nous entoure, de telles rencontres paraissent bien improbables et nous avons beaucoup de chances de voler longtemps sans rencontrer d'obstacle, mais vous savez ce que vaut le mot *chance*, et un seul événement de ce genre suffirait, non point à détruire le Soleil, mais à accroître sa chaleur en de telles proportions que notre globe terrestre serait immédiatement transformé en une fournaise ardente, comme au temps de sa jeunesse.

Conclusion : la science, à l'heure actuelle, est impuissante à nous fixer l'heure de la fin ; tout ce qu'elle peut nous affirmer, c'est qu'autrefois la Terre n'existait pas et que dans un avenir plus ou moins lointain, l'humanité disparaîtra du grain de sable dont elle se dispute les parcelles.

L'Énigme de notre Climatologie

Y a-t-il, dans toutes les sciences humaines, une science plus féconde en résultats pratiques que la météorologie? Je ne parle pas de celle qui se bornerait à constater des faits, à enregistrer des valeurs, à tracer les courbes des phénomènes passés : j'entendrais par météorologie une science capable de prévoir.

Hélas ! une telle science vient à peine de naître ; il faudra beaucoup d'années peut-être pour la voir grandir et tenir une place honorable à côté des autres sciences humaines. Mais si elle est née hier, il importe de le constater dès maintenant ; il nous faut établir son acte officiel de naissance, et voilà le but unique de cette étude.

Point n'est besoin, pour mes collègues les météorologistes, de faire constater le peu de portée des méthodes actuelles de prévision ; malgré une réclame effrénée autour de certains noms, je persiste à dire que la prévision du *temps qu'il fera* n'existe pas pratiquement. Ceux qui reçoivent les dépêches du Bureau central savent à quoi s'en tenir à ce sujet, et je mets au défi un météorologiste, non seulement de tracer la courbe de la pluie pour le mois prochain dans telle région déterminée, mais encore de prévoir à coup sûr le *temps de demain.*

Cette profession de foi bien affichée, je dois déclarer que je regarderais comme un non moins grossière illusion le fait de croire ces problèmes insolubles et d'écarter *a priori* toute esquisse de solution, aussi vague fût-elle.

Parmi les hypothèses nombreuses ayant la prétention d'expliquer une série de phénomènes se trouve souvent, sinon la véritable solution, du moins quelque chose d'assez approché. Chacune d'elle vaut donc la peine d'être minutieusement examinée.

Il faudrait des volumes pour exposer et discuter les méthodes préconisées pour la prévision du temps. Pour la majorité des habitants de notre planète, c'est notre satellite qui détermine les variations de température, la pluie, les tempêtes, etc... Je laisse de côté toutes ces élucubrations fantaisistes pour aborder la question sous son vrai jour.

Il existe dans le Soleil des changements qui semblent avoir une simultanéité avec des changements constatés sur la Terre. N'y aurait-il pas là autre chose qu'une simple coïncidence ? Si les changements solaires étaient la cause des phénomènes terrestres, nous aurions d'ores et déjà des principes sur lesquels on pourrait asseoir une véritable théorie des variations météorologiques.

Je pourrais me contenter de donner les résultats auxquels on est arrivé dans ces dernières années. Mais je pense qu'il sera particulièrement agréable au lecteur de suivre pas à pas le progrès de la question, qui est loin d'être nouvelle.

Il est bon parfois de jeter un regard derrière soi pour s'assurer de la longueur de la route parcourue;

il semble que les étapes à franchir en deviennent moins rudes.

L'idée d'appliquer à la prévision du temps les taches du Soleil n'est pas née d'hier, comme on pourrait le croire, en se rappelant le bruit répandu il y a quelque trente ans autour du nom de l'abbé Fortin. A peine les taches étaient-elles découvertes que Riccioli, en 1651, annonça qu'il pouvait exister une coïncidence entre l'apparition de ces phénomènes sur le Soleil et les variations du temps. Mais, à cette époque, cela ne pouvait avoir aucune portée. On assimilait d'ailleurs les taches à des astéroïdes tournant autour du Soleil, et les influences astrales étaient trop en honneur pour qu'on ne songeât pas à donner aux taches solaires un rôle prépondérant dans les affaires terrestres.

Avec sir William Herschel, la question, en 1801, prend déjà une allure plus scientifique : « La première chose, dit-il, qui ressort des observations astronomiques du Soleil, c'est que les périodes de disparition des taches sont de beaucoup plus longue durée que celles de leur apparition. Pour ce qui est de la concordance des taches avec la rigueur ou la douceur des saisons, il est à peine nécessaire de faire remarquer que nous n'avons rien de décisif à ce sujet. Nous trouvons cependant des éléments pour résoudre la question, d'une façon indirecte, il est vrai, dans l'influence des rayons solaires sur la végétation et la culture du froment dans notre pays. N'y a-t-il pas là un critérium certain de la quantité de lumière et de chaleur émises par le Soleil, puisque le prix du blé représente exactement la rareté ou

l'abondance de sa production absolue dans notre région ?

« En examinant la période comprise entre 1650 et 1713, il semble probable, d'après le cours normal du blé, qu'il se produisait une rareté ou un défaut temporaire de la végétation en général quand le Soleil *n'avait pas de taches* ; ces apparences seraient donc les symptômes d'une émission abondante de lumière et de chaleur.

« Aux agriculteurs et aux botanistes qui pourraient me répondre que le blé pousse dans des climats plus froids et qu'une distribution appropriée d'humidité et de sécheresse a probablement beaucoup plus d'importance que la quantité absolue de lumière et de chaleur venant du Soleil, je ferai observer que ces circonstances réelles d'alternances appropriées d'humidité, de sécheresse, de vent, etc., favorables à la végétation, peuvent fort bien dépendre de la quantité de rayons solaires qui nous sont envoyés. »

Tout ceci était bien moins le résultat de l'expérience que des sublimes intuitions dont Herschel fit preuve en différentes circonstances de sa carrière d'astronome et de physicien.

On ne connaissait d'ailleurs, à cette époque, que le seul phénomène des taches, et nous verrons qu'il faut tenir compte d'éléments beaucoup plus nombreux pour arriver à quelques conclusions.

La loi même qui régit les taches dans leur apparition à la surface solaire et leur distribution en latitude avait échappé aux astronomes, et il faut venir jusqu'en 1843 pour trouver une indication à ce sujet.

Schwabe de Dessau découvrit alors un cycle de onze ans environ dans les phénomènes solaires ; Wolf reprit la question peu après.

Mais ce ne fut qu'en 1851 que les résultats acquis par Schwabe, après vingt-cinq années d'observation, furent publiés complètement. Il faisait remarquer dans son mémoire qu'il venait de découvrir la périodicité des taches, fait de la plus haute importance et qu'il convenait d'envisager à sa juste valeur.

Il avait entrepris son travail sans aucune idée d'obtenir un résultat aussi certain, et il racontait que « comme Saül, il s'était mis à la recherche des ânesses de son père et avait trouvé un royaume ».

Voici en quelques mots en quoi consiste cette périodicité ; une série d'observations continues montre que les taches du Soleil sont soumises dans leurs variations, soit au point de vue du nombre, soit au point de vue de la surface solaire tachée, à une loi se traduisant assez bien par une courbe ayant la forme connue du chapeau de gendarme. Le nombre des taches passe d'abord par un minimum, s'accroît pendant quatre années et demie environ, pour passer vers un autre minimum six ans après. L'activité solaire monte donc brusquement pour s'éteindre peu à peu.

Les travaux entrepris depuis Schwabe ont montré nettement qu'on aurait tort de chercher pour cette période une loi absolue ramenant les mêmes phénomènes à des époques strictement régulières, comme le retour d'une planète à son périhélie, par exemple. La moyenne du nombre d'années qui s'écoulent entre un minimum et le minimum suivant ou entre deux

maxima consécutifs est d'à peu près onze ans, depuis le commencement du XVIIe siècle. Mais il faut nous défier de ces moyennes pour en tirer une conclusion scientifique. En astronomie comme en toute science, c'est un jeu dangereux qu'il faut prendre pour ce qu'il vaut.

Si l'on examine attentivement la courbe des taches depuis deux siècles, on peut conclure que la régularité n'est pas une des propriétés de cette courbe. Nous pouvons en donner un très récent exemple. Théoriquement, le dernier maximum des taches aurait dû survenir en 1905, le maximum précédent ayant été observé en 1894 ou même au mois de novembre 1893. Or, ce maximum s'est produit près de 14 mois en retard et a été enregistré dans le courant de février ou mars 1906. Bien plus, ce maximum loin d'être régulier fut très difficile à déterminer exactement. La courbe des taches montre en effet trois ondes bien marquées qui atteignirent successivement leurs points culminants en novembre 1905, juillet 1906 et février 1907. De semblables maxima avaient déjà été observés principalement en 1829 et 1804.

Dans ces conditions, il est difficile sinon impossible de prédire la date exacte du prochain minimum qui doit survenir vers 1924. Mais personne au monde ne peut faire une prédiction certaine à cet égard. On a observé en effet des minima éloignés de 8 ans 2/10, de 8 ans 3/10, et on en a vu aussi dont l'intervalle était de près de 15 ans ! (De 1784,7 à 1798,3).

Pour les maxima, les différences sont encore plus marquées : de 1788,1 à 1804,2 il y a plus de 16 an-

nées ; puis suivent deux périodes de 12 et 13 ans et enfin de 7 ans 3/10 seulement.

Nous avons dit que la courbe monte brusquement d'un minimum au maximum suivant ; mais là encore il n'y a rien de régulier : par exemple, de 1775,5 à 1778,4 il y a trois ans à peine, tandis qu'en d'autres occasions nous trouvons près de six années, comme de 1810 à 1816 et surtout de 1823,3 à 1829,9.

Nous avons longuement médité sur les causes de ces variations que les astronomes ont cherchées un peu partout. Sans nous flatter d'avoir résolu cette importante question, il nous semble que la solution que nous en avons donnée dans notre ouvrage, le *Problème solaire*, est la seule qu'on puisse défendre actuellement au point de vue scientifique. Les variations des taches seraient dues, dans cette hypothèse, à des variations correspondantes de la condensation du Soleil.

Cet astre occupe encore maintenant le centre d'une petite nébuleuse très aplatie dont nous voyons les matériaux à certaines époques favorables. C'est ce que nous appelons la *lumière zodiacale* ; très près du Soleil, cette matière nébuleuse se condense tellement qu'elle donne lieu au phénomène remarquable de la *couronne*, visible seulement pendant les éclipses totales. Nous avons montré que la relation intime entre les formes de la couronne et les périodes des taches est une relation de cause à effet. La matière serait répartie autour du Soleil en zones concentriques de différentes densités que l'attraction amènerait peu à peu à la surface solaire.

Au reste, la cause de la périodicité importe peu

pour le moment. Ce qui est absolument certain, c'est que cette périodicité existe ; qu'on ne peut fixer d'une façon précise la longueur de la période pour un cas futur déterminé ; que cette période enfin est à peu près *undécennale,* le nombre 11 étant très voisin du nombre moyen obtenu par comparaison des périodes depuis 1610.

De l'examen des nombres qui indiquent la surface solaire tachée à chaque maximum ou minimum, nous pouvons encore tirer une autre conclusion qui frappe au premier abord l'observateur le moins attentif ; il y a des maxima et des minima relatifs à côté de certains maxima et minima plus marqués qu'on pourrait appeler absolus. Ainsi, M. Wolf, autrefois, avait cru découvrir une période semi-séculaire venant se superposer à la première et dont la durée serait de 55 ans environ. Après une activité plus forte du Soleil dans les vingt dernières années du XVIII[e] siècle, il y aurait eu une période de calme relatif en 1810 et 1825 ; puis l'activité solaire aurait augmenté jusqu'en 1870 pour diminuer ensuite jusqu'à notre époque.

Plus récemment, en 1902, M. N. Lockyer en Angleterre a montré qu'il doit exister une autre période plus courte n'embrassant que trois périodes undécennales et d'une durée totale moyenne de 33 à 35 ans. L'un de ces maxima absolus serait survenu en 1833,9, le suivant en 1870,6 et actuellement nous viendrions d'en franchir un troisième. Sans doute le dernier maximum, 1906,4 a une surface tachée moindre que celui de 1870 par exemple, cependant il a duré très longtemps et a présenté trois

maxima successifs en novembre 1905, juillet 1906 et février 1907.

La période est donc bien undécennale, comme nous l'avons admis, mais elle n'est pas aussi simple qu'on pourrait le croire. Il vient se superposer à cette période undécennale une seconde période dont la durée serait de trente-cinq ans.

Voilà des faits qui ne sont basés sur aucune théorie préconçue. Mais les progrès accomplis dans les cinquante dernières années ont montré que les taches ne sont que l'une des phases de l'activité solaire. Les méthodes nouvelles pour l'enregistrement des protubérances prouvent que ces phénomènes sont liés à la production des taches.

Les périodes des protubérances sont régies par les mêmes lois. La courbe est cependant plus régulière, en ce sens seulement que les points d'inflexion y sont moins marqués et que les sommets sont plus aplatis.

Les variations de la couronne sont également soumises à une loi analogue de même durée que la période undécennale des taches. Nous pouvons donc dire d'après ce qui précède que l'activité solaire subit des fluctuations périodiques d'une durée moyenne de onze ans et que ces fluctuations elles-mêmes sont soumises à des variations qui couvrent une étendue totale de 35 ans environ.

Il est bien évident que si le Soleil lui-même, dont l'influence sur la vie à la surface de notre globe est si considérable, a une activité très variable, nous devons en retrouver l'écho plus ou moins atténué dans les différents phénomènes météorologiques qui

composent ce que nous sommes convenus d'appeler le *temps* ; autrement dit, nous devons retrouver l'influence de ces variations sur la Météorologie terrestre.

N'oublions pas en effet que si notre globe était incandescent à l'origine, depuis fort longtemps déjà les matériaux en fusion qui composent la plus grande partie de sa masse sont enveloppés dans une écorce froide, suffisamment épaisse pour que nous n'en ressentions pas les effets, du moins à la surface même. Tout au plus la chaleur interne est-elle assez forte pour maintenir au même point thermométrique les couches voisines du sol.

C'est donc exclusivement du Soleil que nous recevons maintenant à peu près toute la chaleur dont nous avons besoin. Supprimons-la, et la Terre deviendra aussitôt un tombeau glacé pour ses habitants. Dans ces conditions il est évident *a priori* que tout changement dans l'activité de l'astre central influera sur l'état thermique de notre globe, sur les pluies, les orages, et indirectement sur la végétation.

Recherchons donc jusqu'à quel point cette influence se fait sentir et sans vouloir étudier le problème dans toute son ampleur en considérant les variations de tous les éléments météorologiques, bornons-nous pour l'instant à l'examen de la pluie.

Aussi bien, c'est la question qui doit le plus nous intéresser pour le moment, après les grandes inondations qui viennent de ravager si terriblement la France et particulièrement Paris.

Vers 1865, on trouve que la réaction des chan-

gements solaires sur la Terre n'est pas aussi limitée qu'on aurait pu l'imaginer.

Cette idée prit corps définitivement avec les travaux du docteur Stone, de l'Observatoire royal du Cap de Bonne Espérance, de Piazzi Smith (Observ. d'Edimbourg) et ceux de quelques autres, vers les années 1870 et 1871. De son côté, le docteur Meldrum, le météorologiste bien connu, directeur de l'Observatoire de l'île Maurice (devenu depuis le *Royal Alfred Observatory*), apportait la plus sérieuse contribution à cette étude.

Il fit observer que le nombre des épaves apportées par la mer dans le port de Maurice et provenant des naufrages, ainsi que le nombre des cyclones observés dans l'océan Indien étaient liés au nombre des taches du Soleil, à tel point que la statistique des uns permettait de déterminer la quantité de ces derniers phénomènes.

Il est vrai que le docteur Meldrum était, pour ainsi dire, aux premières places pour étudier ce rapport de la météorologie terrestre avec la variation solaire, car l'île Maurice est située dans les régions tropicales, et c'est là, sans contredit, que les influences solaires sont le moins troublées.

Le nombre des cyclones est presque fonction du nombre des taches, et Meldrum nous a donné le tableau suivant :

1847-51, années caractérisées par le nombre des cyclones........	(Maximum solaire 1848,1)
1852-57, années caractérisées par un calme relatif	(Minimum « 1856,0)
1858-63, années caractérisées par la fréquence des cyclones....	(Maximum « 1860,1)
1864-68, années caractérisées par une diminution	(Minimum « 1867,2)
1869-72, années caractérisées par une grande augmentation	(Maximum « 1870,6)

On peut voir que les années correspondent avec les époques de maximum et de minimum des taches, et il y a vraiment plus qu'une coïncidence fortuite, conclut avec raison le docteur Meldrum. Le nombre des naufrages, ajoute l'auteur, pendant ces périodes, indique un ordre de fréquence suivant la même loi.

Poey, presque à la même époque, faisait des recherches sur l'état cyclonique dans les Indes occidentales et trouvait que le plus grand nombre des années de maxima des orages tombe toujours de six mois à deux ans, au plus, après les années de maximum des taches. Sur 12 maxima d'orages, 10 coïncident avec des périodes de maxima de taches ; sur 5 minima d'orages, 5 coïncident avec des minima

de taches. On voit donc que les résultats sont généraux pour les Indes orientales et occidentales.

En 1874, M. Lockyer découvre un cycle de pluie correspondant aux taches solaires. Nous lui laissons la parole pour nous expliquer la genèse de sa découverte : « Alors que je me préparais à partir pour les Indes dans le but d'observer une éclipse, M. Fergusson, l'éditeur du *Ceylan Observer,* de passage à Londres, à ce moment, m'apprit que tout le monde à Ceylan reconnaissait un cycle d'environ treize ans, ou à peu près, dans l'intensité de la mousson — que la pluie et la saison nuageuse étaient beaucoup plus intenses tous les 13 ans. Pensant qu'il y avait là un phénomène dépendant du Soleil : « Etes-vous sûr, lui dis-je, que ce cycle revient tous les 13 ans ? Ne serait-ce pas plutôt tous les 11 ans ? » et j'ajoutai, comme raison à l'appui, que la période des taches était de 11 années environ et que cette période devait se faire sentir sur le climat des tropiques, climat régulier s'il en fût. Je pus constater dans la suite que la période à Ceylan était bien réellement de 11 ans, 5 ou 6 années de sécheresse alternant avec 5 ou 6 années d'humidité ; que, d'ailleurs, on avait en outre reconnu une plus longue période d'environ 33 ans ».

M. Meldrum, après avoir étudié les cyclones, passa aux phénomènes des pluies, ceux-ci accompagnant toujours ceux-là. L'étude des pluies à Port-Louis, Brisbane et Adélaïde, conduisit à des conclusions analogues. A son retour des Indes, M. Lockyer examina les statistiques de Madras et du Cap qui apportèrent de sérieuses confirmations aux idées du docteur Mel-

drum ; à la suite de son étude, l'astronome anglais lui écrivait ces lignes empreintes du bon sens qui fait si souvent défaut aux hommes de science :

« Il faut, en Météorologie, comme en Astronomie, rechercher un cycle quelconque ; si vous ne le trouvez pas dans la zone tempérée, cherchez-le dans les zones glaciales ou dans la zone torride, et quand vous l'aurez trouvé, isolez-le complètement, étudiez-le et voyez comme il se comporte. Si vous ne trouvez rien, désespérez pour un temps seulement et profitez de ce répit pour augmenter vos connaissances physiques, ainsi que l'a toujours recommandé le docteur Balfour-Stewart. Mais de grâce ne quittez point l'observatoire météorologique de Kew avant d'avoir essayé d'appliquer ces méthodes sans lesquelles on ne saurait rien faire de bon ».

Il n'est pas douteux que le docteur Meldrum *ait découvert* en Météorologie, *un véritable cycle très important*, analogue sur beaucoup de points à la période du Saros pour les éclipses. Les anciens ignoraient les raisons du Saros comme nous ignorions nous-même, à l'époque où parlait le docteur Meldrum, les rapports entre le Soleil et la Terre.

Aujourd'hui nous sommes un peu plus avancés et il faut, ou ignorer la question, ou avoir un bandeau sur les yeux, pour ne pas admettre ce rapport ; mais quelle est sa vraie nature : *That is the question !*

« Pour la découvrir, il nous faut obtenir une connaissance exacte des courants solaires et en même temps une connaissance non moins exacte des courants terrestres. La première demande les efforts réunis de la photographie et de l'analyse spectrale ;

la seconde exige l'emploi de la Météorologie comme science physique, et non comme une simple collection de statistiques de la température. Quand ces deux conditions seront réalisées — et en dépit de certains météorologistes qui s'efforcent de faire le contraire, elles le seront bientôt — nous aurons une science de la *Météorologie* placée sur une base solide — la *Météorologie de l'Avenir* ».

A cette époque, les autorités indiennes comprenaient parfaitement l'importance de ces recherches. L'Inde est sous les tropiques, et ses habitants dépendent presque entièrement des pluies bienfaisantes qui semblent se rattacher à l'action solaire. De plus, l'Inde avait alors les germes d'une des meilleures organisations météorologiques qu'il fût possible d'établir à la surface de notre planète.

« Comme j'étais dans l'Inde en 1872, dit encore Sir Norman Lockyer, Lord Mayo, alors vice-roi, me fit l'honneur de me demander de choisir à Simla l'emplacement d'un Observatoire de physique solaire déjà projeté à cette époque. Il y a de cela trente ans ! Malheureusement, j'étais secrétaire du Duc de la Commission de Devonshire, qui siégeait alors ; je ne pouvais pas le quitter, ni par conséquent songer à habiter les Indes ; le plan qui fut alors présenté aux autorités indiennes, — plan à la fois grandiose et extravagant — ne put aboutir. »

A cette époque, on avait compris l'importance de la question et on prit partout des mesures pour organiser un vaste réseau d'observations météorologiques. D'autre part, on se préoccupait des changements solaires que les derniers faits avaient mis en

évidence. En Angleterre, des Commissions furent nommées qui, toutes, conclurent à l'établissement d'un Observatoire consacré à la physique solaire. Il est de tout intérêt de rapporter ici même la façon dont s'exprime dans son Mémoire la British Association, en demandant au Gouvernement anglais la création d'un nouveau bureau. « Pour un grand nombre de savants, dit le Mémoire cité, il y a une relation plus ou moins intime entre l'état de la surface solaire et la météorologie terrestre. Des recherches récentes ont conduit différentes personnes à la conclusion qu'il y a une ressemblance entre la période des taches, les périodes de famine dans les Indes et les cyclones dans l'Océan Indien ».

Le résultat de cet appel ne se fit pas longtemps attendre. L'Observatoire de Kensington, que dirige si admirablement et avec tant de zèle, Sir N. Lockyer, est très bien outillé actuellement pour le genre de recherches qu'on demandait ; mais les Observatoires de l'hémisphère boréal, et en particulier ceux d'Europe, ne peuvent suffire à la tâche, en raison des temps couverts qui empêchent l'observation quotidienne du Soleil. Depuis, l'Angleterre, toujours en avance lorsqu'il s'agit des grands progrès scientifiques, a donc décidé l'établissement de différents Observatoires qui photographient le Soleil toutes les fois que la chose est possible et qui envoient leurs observations à South Kensington, où elles servent à compléter celles de Greenwich. Là, elles sont réduites de façon à forcer la suite des observations commencées en 1873 et qui doivent continuer celle de

Kew. De ce nombre sont les Observatoires tropicaux de l'Inde, du Cap et de l'île Maurice.

Le chiffre des observations quotidiennes, qui s'élevait au nombre maximum de 173 (année 1877), fut plus que doublé de ce fait et, pour ne citer que quelques exemples, nous donnerons les résultats obtenus de 1889 à 1898. « En 1889, nous avons des photographies, dit M. Lockyer, pour tous les jours de l'année sauf 5 ; en 1890, pour tous les jours, sauf 4 ; en 1891, pour tous les jours, sauf 2 ».

Avec des observations aussi complètes, l'étude de la physique solaire devait faire d'énormes progrès.

Dans le milieu de l'année 1878, le docteur Meldrum, reprenant ses études sur la pluie, trouve qu' « il y a une remarquable coïncidence entre la variation de la pluie et des taches à Edimbourg, beaucoup plus remarquable qu'à Madras. Les années de maximum et de minimum de pluie et de taches, pour les cycles moyens, coïncident et, somme toute, il y a une gradation régulière du minimum au maximum et du maximum au minimum voisin ».

Le minimum de pluie arrive en moyenne dans l'année qui précède immédiatement l'année du maximum des taches.

Les résultats de ces recherches montrent que la pluie de cinquante-quatre stations en Grande-Bretagne, de 1824 à 1867, était de 19 millimètres au-dessous de la moyenne quand les taches étaient au minimum, et 22 millimètres 8 dixièmes au-dessus de la moyenne quand les taches étaient à un maximum.

Pour les trente-quatre stations d'Amérique les nombres correspondants étaient 23^{mm} 8 et 28^{mm} 7.

Dans le rapport du Département météorologique du Gouvernement de l'Inde, publié cette année-là (1878), on trouve l'allusion suivante à l'action solaire :

« Voici les principales conclusions que la Météorologie du Gouvernement de l'Inde pour les années 1877-1878 semble faire naître, sinon imposer :

« Il y a une tendance aux périodes de minimum des taches à une augmentation excessive et prolongée de la pression sur l'Inde, à un développement inaccoutumé des pluies hivernales et à la production d'énormes chutes de neiges anormales sur la région de l'Himalaya... le tout semble également être accompagné par une faible mousson sud-ouest ».

En 1880, la relation des famines indiennes et du baromètre fut pour la première fois traitée à fond par M. F. Chambers, le rapporteur de la Météorologie pour l'Inde occidentale. Il concluait dans son étude qu'il y a une relation intime entre les variations *des taches, de la pression barométrique et de la pluie*, et comme en général les famines sont amenées par le manque d'eau, il est probable qu'elles peuvent être aussi ajoutées à la liste précédente des phénomènes connexes.

On reconnut bientôt en comparant les courbes de la pression barométrique en de nombreuses stations réparties sur le pourtour entier de notre globe que si l'on observe une très grande ressemblance de forme entre toutes ces courbes, on trouve cependant une preuve évidente d'un manque de simultanéité dans les mouvements barométriques aux différentes stations et que, en règle générale, les chan-

gements ont lieu aux stations occidentales plusieurs mois plus tôt qu'aux stations orientales.

A propos de ces changements de pression, Blanford écrivait les phrases suivantes :

« Parmi les variations les mieux établies dans la Météorologie terrestre qui se conforment au cycle des taches, se trouvent les variations des cyclones tropicaux et de la pluie sur le globe entier ; elles supposent toutes deux une variation correspondante dans l'évaporation et la condensation de la vapeur. De plus, la variation de pression dont nous nous occupons a évidemment son siège dans les couches les plus élevées de l'atmosphère (probablement celles où se forment les nuages). Ceci n'est pas seulement démontré dans le cas présent par l'excès relatif de pression observé dans les stations de montagnes comparées aux stations de plaines, mais suit aussi une loi générale d'après le fait établi par Gautier et Koppen, à savoir que la température de la basse couche varie d'une façon contraire à la variation de pression observée. Il est donc raisonnable de supposer que l'agent principal, dans la production de la réduction observée de la pression à l'époque du maximum des taches, est la formation et l'ascension plus abondante de la vapeur qui peut agir de trois façons différentes. Premièrement, en déplaçant l'air dont la densité est les 3/8 plus grande ; deuxièmement, en dégageant de la chaleur latente dans sa condensation ; et troisièmement, en faisant naître des courants ascendants et en réduisant ainsi dynamiquement la pression de l'atmosphère en général. Le premier et le second de ces moyens ne réduisent pas

directement la pression, mais seulement la densité de la couche d'air pendant qu'elle augmente de volume. Par conséquent, pour que l'effet observé se produise, il faut qu'une partie de l'atmosphère supérieure soit écartée ; cette partie ira nécessairement vers les régions où la production de la vapeur est à un minimum, c'est-à-dire vers les parties polaires et les zones de température plus froide, et plus spécialement celles où une surface continentale froide et aride rayonne rapidement sous un ciel d'hiver. C'est ce qui arrive dans la grande plaine septentrionale de la Russie d'Europe et de la Sibérie occidentale au nord de l'Altaï ».

En 1886, M. Lockyer recueillit les premiers fruits des observations des lignes élargies dans les taches, étudiées sur un plan bien défini depuis 1879. Les changements qui s'étaient produits d'un minimum à un maximum de taches et même un peu au delà, étaient enfin enregistrés. Des changements très marqués montraient une grande variation dans la chimie des taches à cette époque. Au minimum, les lignes élargies étaient surtout celles du fer et de quelques autres métaux, mais au maximum les lignes élargies étaient classées comme « inconnues » parce que l'on n'avait pu les rapporter à aucun des spectres des éléments terrestres. Il était raisonnable de supposer par conséquent que le Soleil n'était pas seulement plus chaud au maximum, mais qu'il était suffisamment chaud pour dissocier les vapeurs du fer.

En 1891, M. Hale, et plus tard M. Deslandres, appliquant l'idée que M. Janssen avait émise dès 1869, parvinrent à photographier régulièrement les protu-

bérances à la surface du Soleil. C'était un appoint de plus pour la théorie des changements simultanés solaires et terrestres.

L'année précédente, le professeur Édouard Brückner, de Berne, faisait paraître à Vienne une discussion très intéressante et très approfondie d'une foule de documents concernant le climat de l'Europe occidentale. Il arrivait ainsi à la conclusion que ce climat était sujet à des alternatives qui ramenaient à peu près les mêmes circonstances tous les trente-cinq ans. Ce cycle se partageait en outre en deux périodes égales, chacune de 15 à 17 ans, l'une pendant laquelle les notes caractéristiques étaient la sécheresse et la chaleur, l'autre où dominaient en moyenne le froid et l'humidité.

Brückner réunit d'abord toutes les observations faites depuis 1800 sur la température et sur les pluies. Il reconnut qu'il s'était produit une succession de trois phases froides. La première dura de 1806 à 1820 ; la seconde de 1836 et 1850 et la troisième de 1871 à 1885. Entre ces périodes froides s'intercalaient deux périodes chaudes, l'une de 1821 à 1835, l'autre de 1851 à 1870.

La distribution des pluies subissait des phases analogues qui concordaient d'une façon remarquable avec les oscillations de la température. Trois périodes humides correspondant aux trois périodes d'abaissement de la température, 1906 à 1825, 1841 à 1855 et 1871 à 1885 entre lesquelles on trouve deux périodes sèches, de 1826 à 1840 et de 1851 à 1870.

Ainsi la durée des cycles varie de 30 à 35 ans, dans la période qui s'étend de 1800 à 1890. Remar-

quons en passant que les données accumulées pendant ce laps de près d'un siècle sont très curieuses et forment une base scientifique très sûre.

Brückner voulut ensuite une nouvelle confirmation de ces périodes sèches et humides. Il est bien évident que s'il tombe sur la Terre une plus grande quantité d'eau, le niveau des rivières, et surtout des lacs doit augmenter d'une façon appréciable, tandis que pendant les périodes sèches, ce niveau doit baisser.

Or, il se trouve justement que les plus grandes crues des lacs de l'Europe se sont produites, pendant le XIXe siècle, au cours des années 1820, 1850 et 1880 ; par conséquent à des intervalles de trente ans exactement et à des dates correspondant aux dernières années des périodes humides et de basse température.

Par contre, les niveaux les plus déprimés avaient été observés en 1835 et 1865, juste au milieu des intervalles correspondants.

Ainsi, les variations des lacs indiquaient une périodicité tout à fait comparable à celle des éléments du climat et, entre les divers ordres de cycles, on observait une coïncidence très satisfaisante.

Mais était-il possible de pousser plus loin les recherches et de retrouver la même périodicité dans le siècle précédent par exemple ? Il ne fallait pas songer assurément à obtenir pour ce laps de temps des données aussi certaines sur la température et la pluie. Cependant les variations du niveau des lacs devaient fournir des indications suffisamment sérieuses. Dans les années pluvieuses en effet la nappe

lacustre doit recevoir un plus fort tribut des fleuves qui l'alimentent et par conséquent le niveau du lac doit monter. Le contraire se produit pendant les périodes sèches.

Or un tel état ne peut manquer d'être constaté par les riverains. En effet les populations habitant près d'un lac comme celui de Neuchâtel, par exemple, dont les bords sont peu élevés, ont tout intérêt à ce que le niveau du lac ne vienne ni à monter ni à descendre, car de grandes étendues de terre sont aussitôt ou inondées ou mises à sec. Ces variations apportent un grand trouble dans les intérêts des particuliers. Ou bien la commune est amenée à prendre des mesures spéciales, ou des contestations s'engagent, qui se traduisent par des procès, et de tout cela les archives locales sont forcées de garder les traces.

Brückner put ainsi reconnaître que la plus grande hauteur d'eau des lacs s'était produite en 1700, 1740, 1780 et 1820, soit à des intervalles de quarante années. D'autre part, il semble que des périodes humides se sont fait sentir de 1691 à 1715, de 1726 à 1755, de 1771 à 1780.

Les plus basses eaux, au contraire, se sont montrées en 1720, 1760 et 1800, correspondant à des périodes sèches allant de 1716 à 1735, de 1756 à 1770 et de 1781 à 1805.

Ainsi apparaissait à nouveau une oscillation périodique d'une durée de trente ou quarante ans. C'était la confirmation des conclusions basées sur les observations du XIXe siècle.

Enfin Brückner, remontant encore plus haut dans

l'histoire, arrivait aux constatations suivantes : De l'an 1020 à 1390, on peut compter vingt récurrences des mêmes circonstances exceptionnelles et ces récurrences sont séparées par des intervalles qui varient de vingt-cinq à cinquante ans, la moyenne étant de 34 ans 1/2. De 1391 à 1590, la considération des vendanges et des grands hivers fait ressortir 12 récurrences, avec intervalle de 33 ans 1/2. Enfin, de 1591 à 1690, l'histoire combinée des lacs et des circonstances agricoles fournit pour l'intervalle des récurrences une moyenne de 30 ans.

On voit que la durée des périodes varie sensiblement, mais ces différences s'atténuent beaucoup si l'on groupe les oscillations par séries de cinq consécutives. On trouve ainsi :

de 1020 à 1190	un intervalle	moyen de	34 ans
de 1190 à 1370	»	»	36 »
de 1370 à 1545	»	»	35 »
de 1545 à 1715	»	»	34 »
de 1715 à 1890	»	»	35 »

Depuis près de mille ans, le climat de l'Europe occidentale paraît donc éprouver des oscillations d'une durée moyenne de trente à trente-cinq ans, se partageant en deux moitiés, l'une plus particulièrement humide et froide, l'autre plutôt sèche et chaude.

Brückner en chercha la raison dans l'influence exercée par le Soleil sur la Terre en faisant remarquer que cette période de 35 ans correspond à peu près à trois périodes undécennales des taches. Toutefois il ne réussit pas à découvrir dans l'activité solaire la période de 33 à 35 ans dont nous avons

parlé plus haut, de sorte que ses conclusions sur la cause du cycle climatérique qui porte son nom ne parurent pas d'abord très certaines.

Le cycle de Brückner ne se vérifie pas d'ailleurs pour toute la Terre ; il est vrai pour l'Europe Occidentale, au voisinage de la Mer du Nord. Il n'aurait plus de valeur, paraît-il, pour l'Asie où les variations du lac d'Aral, d'après M. Voeikof, suivent un tout autre régime. Ceci se conçoit aisément si l'on songe à tous les facteurs qui jouent un rôle dans la composition du climat sous nos latitudes.

Les climats tropicaux sont beaucoup plus réguliers, à tel point que les fluctuations solaires s'y font sentir dans les moindres détails. En 1893, M. Gonzalez, directeur de l'Observatoire de Bogota, faisait une statistique approfondie des époques sèches et pluvieuses dans la région des tropiques, en remontant aussi haut que le permettaient les données recueillies. Depuis l'observation des taches, c'est-à-dire depuis l'année 1610, les époques sèches sont groupées autour des années de minimum des taches, et les périodes pluvieuses, au contraire, autour des maxima. Depuis de longues années cet astronome vérifiait expérimentalement cette théorie.

En 1894, M. Savelief publia ses beaux travaux sur la constante solaire, entrepris dans les années 1891, 1892 et suivantes. On admettait encore d'une façon générale, malgré des faits contraires, que la radiation solaire ne variait pas en intensité. M. Savelief reprenant les travaux déjà cités, concluait à une relation entre la radiation et la surface tachée, la première augmentant en même temps que la se-

conde ; la concordance des résultats, dit-il, permet d'admettre avec une grande probabilité que l'intensité calorifique de la radiation solaire augmente avec l'activité des phénomènes qui se produisent à la surface du Soleil, celle-ci étant caractérisée par l'accroissement du nombre des taches. Nous verrons bientôt que l'analyse spectrale ratifia pleinement les observations et les conclusions de l'astronome russe. Déjà, plus de vingt années auparavant, le P. Secchi, du Collège Romain, avait émis cette idée d'une variation de radiation à la surface du Soleil, les régions les plus chaudes affectant surtout l'équateur solaire et, chose bizarre autant que paradoxale, tout tendait à prouver que la chaleur augmentait à mesure que s'accroissait le nombre des taches. On admettait alors que les taches étaient des régions froides.

En 1900, je fis paraître une nouvelle théorie des taches, la théorie *hypothermique*. C'était une explication rationnelle donnée pour la première fois de ces formations énigmatiques. Je montrais qu'il fallait prendre les anciennes théories à rebours ; les taches, au lieu d'être froides, étaient des régions plutôt surchauffées.

Les gaz chauds sont sombres et émettent des radiations d'autant plus violettes que leur chaleur augmente. C'est ce qui a lieu pour le Soleil. Une expérience que tout le monde peut répéter va nous faire comprendre le mécanisme des taches.

Prenons un réchaud à gaz ; pourquoi la lumière de ce réchaud est-elle à peu près nulle, d'un bleu pâle ? Le gaz d'éclairage en brûlant répand plutôt une lueur jaunâtre, comme dans le bec à papillon :

c'est qu'il contient des particules solides de carbone portées à l'incandescence ; il éclaire, mais ne chauffe presque pas.

Activons la combustion, en lançant un courant d'air dans la masse, comme dans le chalumeau, le bec Bunsen des laboratoires et les fourneaux de cuisine ; immédiatement les parties solides sont volatilisées, réduites à l'état gazeux, la radiation est supprimée ; le gaz chauffe beaucoup, mais n'éclaire plus.

Si nous alimentions le réchaud avec de l'oxygène pour remplacer l'air, nous obtiendrions une flamme à haute température, mais invisible, résultat logique bien que paradoxal à première vue.

La condensation du Soleil qui se fait par intermittences précipite les gaz extérieurs de la couronne solaire sur le milieu chaud de la photosphère et les gaz brûlant complètement deviennent sombres ; toute radiation externe est supprimée.

Les taches témoignent donc d'un surcroît d'activité du Soleil ; lorsqu'elles se feront rares à la surface, l'heure de la fin aura sonné pour lui.

Mes hypothèses étaient surtout, à cette époque, appuyées sur des inductions concordant avec le reste de ma théorie du Soleil.

La suite ne tarda pas à confirmer ces vues ; peu après, Sir Norman Lockyer montrait que les lignes élargies du spectre des taches arrivent concurremment avec l'époque de maximum ou de minimum. Aux périodes de maxima, des lignes inconnues apparaissaient, montrant ainsi que la chimie solaire était soumise à des alternatives de températures plus ou moins élevées. A mesure que le Soleil se re-

froidissait, tout rentrait dans l'ordre que nous connaissons et les lignes connues, comme celle du fer, par exemple, réapparaissaient. En construisant deux courbes, l'une pour les lignes du fer, l'autre pour les lignes inconnues, on constatait une variation inverse et en superposant les deux courbes on obtenait un point de croisement correspondant évidemment à l'époque où le Soleil avait une température moyenne.

Les taches devenaient donc le phénomène accessoire. Ce qu'il fallait surtout considérer dans le Soleil, c'était son état thermique offrant trois stades bien marqués :

Une température *maxima* aux époques de grande activité ;

Une température *minima* aux époques de minimum ;

Une température *moyenne* se manifestant à moitié chemin du maximum au minimum suivant.

Or, on s'avisa de comparer ces véritables « pulsations de chaleur » aux pulsations de pluie dans les Indes et la concordance fut frappante. Bien plus, par une étude des Compte Rendus de l'*Indian Famine Committee*, on arriva à cette conclusion, que les famines qui ont dévasté les Indes pendant les soixante dernières années, s'étaient toujours produites dans les intervalles qui séparent les pulsations.

Cette recrudescence de pluie aux époques de grands maxima va nous expliquer pourquoi le parallélisme des courbes de taches et de températures terrestres n'est pas une loi générale. Au premier abord, il semble même qu'il y ait là une grave anomalie.

Or, l'anomalie n'existe pas ; un simple raisonnement va nous en convaincre.

Si le globe terrestre était un solide tournant sur lui-même sans atmosphère, il refléterait dans son échauffement toutes les vicissitudes du Soleil, et sa température varierait suivant les conditions calorifiques de l'astre. Mais nous savons qu'il est loin d'en être ainsi.

L'atmosphère absorbe les 4/5 de la chaleur envoyée par le Soleil et les tient en réserve, suivant qu'elle est plus ou moins chargée de vapeur d'eau. En outre, l'élément liquide, qui occupe les 3/4 du globe vient encore compliquer les résultats. On peut calculer l'évaporation des océans sous l'influence de la chaleur solaire.

Dans les régions équatoriales, cette évaporation enlève une couche d'eau ayant au moins 5 mètres d'épaisseur. Or il ne tombe en moyenne que 2 mètres d'eau par an dans ces régions. Que sont devenus les 3 mètres restant ? Ils sont allés humidifier les couches d'air des régions situées plus près des pôles.

En s'évaporant, l'eau absorbe une très grande chaleur de vaporisation qui passe de l'équateur aux pôles et tend à régulariser les températures, à cacher la somme variable d'émission calorifique du Soleil. On peut même évaluer grossièrement la chaleur absorbée.

En supposant une surface d'évaporation de 240 millions de kilomètres carrés et de 3 mètres d'épaisseur ainsi que nous l'avons vu, nous obtenons un volume d'eau égal à 720 000 kilomètres cubes !

La quantité de chaleur contenue dans cette masse

vaporisée serait capable de faire fondre une masse de fer dont le volume serait égal à 400 000 kilomètres cubes !

On voit maintenant le rôle que joue l'atmosphère, non seulement dans la répartition des températures, mais encore dans la régularisation de la chaleur émise par le Soleil.

Si la chaleur dépasse une très grande quantité, comme aux grands maxima de taches, l'activité solaire aura un effet inverse.

L'évaporation sera plus active ; les régions équatoriales auront une température un peu plus basse, les régions polaires auront probablement une température plus élevée.

Il y aura tendance à une régularisation des températures terrestres comme au moment de ces périodes géologiques où l'atmosphère beaucoup plus dense qu'aujourd'hui, et fortement chargée de vapeur d'eau, emmagasinait toute la chaleur solaire et la répartissait d'une façon si uniforme qu'on ne connaissait même pas le jeu des saisons.

Actuellement dans les latitudes intermédiaires, le phénomène devient très complexe. D'une façon générale, la température doit s'abaisser au maximum de taches vers les basses latitudes et il doit y avoir une oscillation concordant avec la période. Il faudrait, en tout cas, de nombreuses et nouvelles observations pour établir une loi. Mais, et c'est le point capital, là gît la solution du problème si complexe des températures.

En 1902, pour éclaircir encore la question du rapport entre le Soleil et les pluies, M. Lockyer résolut

de réduire les observations des protubérances faites par Tacchini à l'Observatoire du Collège Romain depuis 1874. Il y fut déterminé par les admirables photographies des protubérances sur le disque solaire, publiées par M. Hale, qui montraient la surface couverte sur le disque. Un argùment employé pour faire valoir l'inanité du raisonnement qui supposait une connexion entre les chagements solaires et terrestres était celui-ci : « Autant qu'on peut juger par la grandeur des taches du Soleil, la variation cyclique de la grandeur de la surface solaire libre de taches est très petite comparée à cette surface ellemême ; et par conséquent, suivant un principe mathématique, l'effet produit sur les éléments des observations météorologiques pour la Terre entière doit être très petit. » Ainsi raisonnait M. Elliot en 1877.

Or, les photographies de M. Hale montrent que la surface affectée par les éléments protubérantiels était de beaucoup supérieure à la surface tachée et par conséquent d'ordre *non négligeable*. Parfois on constatait qu'un sixième du Soleil était en état de perturbation. Le permier travail sur la pluie indienne avait montré que non seulement il y avait une relation absolue entre la pression et la pluie, mais que la pression était l'élément le plus constant sur les différentes régions. Or, la comparaison des protubérances avec les pressions donne de merveilleux résultats.

En plus du maxima protubérantiel bien marqué et concordant avec le maximum de taches se trouvaient d'autres maxima correspondant aux croisements des lignes élargies et tous étaient reproduits par les baromètres. Le cycle des taches de onze ans donnait

lieu à un cycle protubérantiel d'environ 3 ans 7/10 et c'est précisément l'intervalle qui sépare généralement les pressions dans l'Inde. On étendit peu à peu ces résultats à la Terre entière, grâce aux statistiques, et on arriva à cette conclusion : que le Globe pouvait être divisé en deux parties. La région Indienne avec ses fluctuations s'étendant sur l'Australie, les Indes orientales, la Russie asiatique, l'Ile Maurice, l'Egypte, l'Afrique orientale et l'Europe, tandis que la région de Cordoba renfermait non seulement l'Amérique méridionale et centrale, mais aussi les Etats-Unis, le Canada et s'étendait même à l'ouest au delà d'Honolulu.

La découverte de cette vague barométrique corroborée depuis par le Professeur Bigelow était un progrès important ; elle permettra, en outre, pour l'avenir, de grouper les régions qui ont des pressions semblables.

Ces faits prouvent que, s'il existe un rapport entre la Météorologie *équatoriale* et le Soleil (et aujourd'hui l'ignorance seule excuserait les doutes), force nous est de pousser plus loin nos conclusions et de les étendre à la Terre entière. Sans doute le problème devient excessivement complexe lorsque nous sortons de la ceinture tropicale où tout se passe d'une façon régulière ; mais d'autre part, nous savons, grâce aux études de Bräkner, qu'il faut admettre, même pour nos régions, un cycle météorologique de 35 ans environ. Les travaux de Brükner avaient été entrepris sans idées préconçues et la découverte de ce cycle repose sur des bases de statistiques purement météorologiques. Or, il se trouve

qu'en outre des cycles solaires éloignés de 11 ans ou de 3, 7 ans, M. W. J. S. Lockyer a mis en évidence une longue période de 33 ans environ concordant assez bien avec celle de Brückner qui, d'ailleurs, n'avait pas été fixée définitivement. Vouloir ne pas voir le rapprochement qui existe entre la grande période solaire et le cycle de Brückner, c'est, comme nous le disions précédemment, se mettre un bandeau sur les yeux.

M. Lockyer a publié, il y a quelques années, un tableau des pluies en différents endroits de la Terre depuis l'époque où sont commencées les observations. Il est de toute évidence que l'action solaire se fait sentir non seulement dans les régions équatoriales, mais encore dans nos latitudes élevées. J'ai tracé une courbe analogue pour Paris en me servant des nombres donnés en 1885 par M. Renou du Bureau central, depuis 1800. La concordance avec la courbe moyenne des taches est frappante en ce sens que tout grand maximum a une influence sur la courbe des pluies dans les années qui suivent.

A Rothesay, en Ecosse, l'accord est encore plus parfait, puisque non seulement la relation est évidente entre la pluie annuelle et le nombre des taches, mais qu'on la retrouve avec plus ou moins de netteté dans les pluies tombées pendant certaines parties de l'année, en été, par exemple.

A Londres, comme à Paris, la concordance n'est pas aussi absolue ; il est difficile de trouver l'action de la période undécennale des taches sur la pluie, mais le cycle de Brückner est très apparent. Si comme l'a fait M. Archibald Douglas en 1903, on

dispose les nombres qui représentent la quantité des pluies londonniennes depuis 1813, de la façon indiquée par Brückner, on trouve que non seulement il existe une succession de périodes sèches et humides, mais que ces variations ont une influence sur le rendement des céréales dans les Royaumes-Unis.

A Bruxelles, on retrouve les mêmes périodes sèches et humides. Il en est de même dans le centre de la France où j'ai pu tracer la courbe des pluies pour Bourges depuis plus de quarante ans.

En 1902, M. M. B. Subba Rao de l'Observatoire de Madras montrait que pour les pluies de Madras, de Malabar, des Ghats occidentaux, de Ceylan, le minimum de pluie arrive presque exactement dans l'année de minimum de fréquence des taches, la différence étant seulement de une année dans un petit nombre de cas. Il trouvait en plus que le maximum de pluie a lieu aussi quand se produit le maximum de fréquence des taches, toutefois la différence peut s'élever à deux ou trois ans.

La même année, au mois de juin, M. Lockyer trouvait par l'examen des observations italiennes des protubérances sur le limbe du Soleil depuis 1871, qu'en plus de la période undécennale il existe des maxima et des minima secondaires à des intervalles de 3 ans et demi. Cette oscillation ne se retrouve pas dans la surface totale tachée du Soleil, mais elle se présente dans les latitudes des taches, de sorte qu'une augmentation dans l'activité protubérantielle est associée à une diminution de latitude de la surface tachée.

Or, dans la courbe annuelle des pluies à Madras,

on retrouve cette période de courte durée plus apparente même que la période undécennale.

En 1905, M. H. Clough, du Bureau météorologique de Washington, arrivait à la conclusion que le cycle solaire et météorologique de 35 à 36 ans varie en longueur pendant une période de 300 ans.

Déjà en juin 1902, M. Thos. W. Kingsmill avait remarqué une apparente coïncidence entre les périodes de taches et les périodes plus longues de la pluie et de la famine dans le nord de la Chine. Reprenant plus tard la même étude en y ajoutant les observations faites dans le Sud de la Chine il arriva à des conclusions fort intéressantes :

« On trouve en effet dans les Annales des documents assez étendus sur la pluie, les famines et les taches du Soleil depuis l'année 620 jusqu'à l'année 1643, couvrant une période de 1023 ans, documents recueillis par M. Hosie en 1877. Evidemment les observations des taches, faute d'instruments, sont très fragmentaires, cependant on y découvre à première vue la période undécennale des taches d'une durée moyenne de 11 085 ans et qui, prolongée pour les temps modernes, se raccorde suffisamment bien avec les données européennes du siècle dernier.

« L'examen de ces documents solaires et météorologiques conduit à admettre plusieurs périodes de très longues durées.

« La première semble couvrir les trois périodes de taches 664-697, bien qu'elle ne soit pas aussi apparente que les autres. La seconde couvre la période similaire du maximum de 963 au maximum de 996 où en plus de deux années de sécheresse dans la

Chine septentrionale, 961 et 962, nous ne trouvons pas moins de 23 années sur 33 caractérisées par des sécheresses excessives dans une ou plusieurs des provinces du nord.

« La troisième couvre les périodes 1262-1295, où, en plus de l'année antérieure 1260, il faut noter 21 années de sécheresse dans les mêmes provinces.

« La quatrième est comprise entre les maxima de taches de 1561 et 1594 ; bien que moins marquée que la seconde et la troisième, cependant elle renferme 10 années de sécheresse en plus des années sèches préliminaires de 1557 et 1558.

« La cinquième période à longue durée doit donc couvrir le cycle de sécheresse également bien marqué qui, commençant vers l'année 1860, s'est continué jusqu'à la fin du siècle. »

Ce cycle de 300 ans correspondrait à 27 périodes undécennales de 11 ans et à 9 périodes de Brückner.

Les grandes crues qui viennent d'éprouver si cruellement la France donnent à cette question de la périodicité des phénomènes météorologiques et de leur relation avec le Soleil un renouveau d'actualité.

Nous avons vu que dans la plupart des stations tropicales, les périodes de sécheresse et d'humidité alternent selon un cycle qui suit pas à pas l'activité solaire.

Comme je l'ai montré il y a quelques années, aux latitudes élevées, surtout dans les grandes étendues continentales, moins soumises que les autres à l'influence d'un climat maritime, le transport de la vapeur d'eau, due à l'évaporation provoquée par le

Soleil, met un temps notable à s'effectuer. Dans ces contrées, les maxima de pluie, bien que séparés par un intervalle égal à celui du cycle solaire, ne coïncident pas avec les maxima de taches : il y a un retard dans les courbes, une sorte de *décalage*.

Au centre de la France, par exemple, où j'ai pu réunir des observations depuis 1870, le phénomène est nettement marqué. Voilà pourquoi, soit dit en passant, les inondations de la Loire, fleuve qui reste en entier dans le centre de la France, ne coïncident pas avec les maxima d'activité solaire, tout en présentant des intervalles assez réguliers.

C'est ainsi que le maximum des taches de 1816 a amené les crues de la Loire en 1826 ; celui de 1829 en 1836 ; celui de 1837 en 1846 ; celui de 1848 en 1856 ; celui de 1860 en 1866 ; etc., etc.

Ce rapport entre chaque phase d'activité solaire et la quantité de pluie n'est cependant pas toujours aussi marqué. En examinant d'une façon générale les statistiques de pluies dans le monde entier, on s'aperçoit vite que c'est la grande période solaire de trente-cinq ans environ qui influe particulièrement sur le phénomène de la condensation pluvieuse, et par conséquent sur le niveau des lacs et les inondations des fleuves.

La Seine va nous en donner un nouvel exemple. Les grandes crues de ce fleuve, celles de 1802, 1807, 1817, 1850, 1872, 1876, 1879, 1882, 1883, 1910 tombent toutes sans exception pendant des périodes réglées par l'activité solaire.

Après le grand maximum de 1870, il y a eu comme une sorte de pulsation pluvieuse à partir de 1879.

Voilà pourquoi, dès 1903, alors qu'on attendait le grand maximum des taches vers 1906, j'ai pu annoncer et prévoir la période humide qui nous a envahis.

Les crues de 1910, si déplorables à tous égards, ne seront sans doute pas les seules que nous faisait prévoir l'activité du Soleil portée à son comble pendant les années 1905, 1906 et 1907.

Ces conclusions, je les ai publiées un peu partout : dans le *New York Herald* (janvier 1904), sous le titre *L'activité solaire et les pluies* ; dans l'Almanach Hachette de 1905, où j'ai donné la courbe des pluies *en prévision*.

« Le Soleil, disais-je à cette époque, va subir comme dans la fièvre une hausse de température. L'évaporation des océans sera plus forte. Des précipitations aqueuses auront lieu et les pluies redoubleront d'intensité jusque vers 1918 avec un maximum vers 1912. »

En décembre 1903, j'ai fait présenter à l'Académie des Sciences une note dont j'ai encore le double et le reçu, et qui est restée dans les cartons d'un honorable académicien, mort depuis, et qui n'eut jamais le temps d'en vérifier les calculs.

Bref, si toutes ces conclusions sont fondées, nous devons reconnaître que nous entrons actuellement dans une période sèche qui ne prendra fin qu'en 1935.

Tels sont, résumés à grands traits, les progrès de cette question du rapport entre les changements solaires et terrestres.

Comme nous le disions au commencement de cette étude, la Météorologie sera une science le jour où

elle saura prévoir. C'est cette même idée que l'illustre Le Verrier émettait, il y a un demi-siècle, lorsqu'au moment de créer un service météorologique international, il disait : « La Météorologie ne passera à l'état de science que le jour où elle pourra prédire longtemps à l'avance la hauteur de la colonne barométrique. A l'heure actuelle, la Météorologie n'est qu'une collection de sciences reliées entre elles par des statistiques de toute nature. Il faut remercier les hommes dont nous avons cité les noms, comme MM. Stone, Meldrum, Balfour-Stewart, d'avoir entrepris, malgré certains météorologistes, de faire sortir la Météorologie de l'ornière où elle marche depuis un siècle.

Grâce à la persévérance et au dévouement de savants comme M. Lockyer, on peut dire que la véritable Météorologie vient de naître. Nous avons actuellement une base sérieuse d'opérations ; il la faut conserver à tout prix. La tâche est ardue sans doute, mais ne désespérons jamais. Apportons tous les jours notre pierre à l'édifice et disons-nous que derrière ces chiffres entassés sur nos registres, il y a une cause en action, une cause à peine soupçonnée sans doute, mais déjà entrevue, et qui saura un jour ou l'autre nous dicter les lois de la Météorologie de l'Avenir.

Où nous entraîne notre Soleil?

Avant la découverte de la gravitation universelle la question du mouvement propre des étoiles et du Soleil n'était probablement jamais venue à l'idée d'un astronome.

Théoriquement le fait ne pouvait même pas se supposer, et pratiquement, l'eût-on admis *a priori*, il semblait dépasser tous les moyens d'investigation.

En réalité on avait, semblait-il aux observateurs, de bonnes raisons de croire à la fixité des points stellaires. Ptolémée n'avait-il pas indiqué plusieurs groupes de trois étoiles nettement alignées dans une même direction. Or, depuis les temps les plus reculés ces positions étaient restées identiques, donc le ciel ne changeait pas.

Cette conclusion, Riccioli l'admettait presque à l'égal d'un axiome, car lui aussi avait trouvé bon nombre de combinaisons d'étoiles réparties suivant des droites. Il en cite vingt-cinq qu'il avait observées pour sa part ; en y regardant de plus près, il eût pu en déceler bien davantage.

Cette ignorance du mouvement relatif des corps célestes avait une excuse : toutes les observations étaient faites à l'œil nu, il était donc bien difficile d'arriver à une approximation même grossière, et un changement de un degré dans les positions an-

ciennes fût certainement resté inaperçu dans tous les cas où la distance des astres observés aurait dépassé l'intervalle de 30 degrés.

La vieille croyance de la fixité absolue des étoiles semblait donc parfaitement fondée et même prouvée par l'observation. Aussi voyons-nous Copernic et Képler eux-mêmes supposer les étoiles absolument fixes.

Mais Newton vint et posa son fameux principe : les choses se passent comme si les corps s'attiraient en raison directe de leur masse et en raison inverse du carré des distances. Dès lors, théoriquement, aucune molécule de matière ne pouvait rester en repos dans l'univers. Les étoiles, le Soleil, tous les astres devaient se mouvoir plus ou moins rapidement à travers l'espace. Mais ce qu'il était facile d'imaginer en théorie, il fallait le prouver par l'observation.

Halley, le premier, soupçonna, en 1678, les mouvements propres d'Aldébaran, de Sirius et d'Arcturus. En comparant les observations des premiers astronomes d'Alexandrie avec celles des temps plus récents, il fut amené à conjecturer que ces trois étoiles s'étaient avancées lentement vers le Sud.

Evidemment la conclusion de Halley ne pouvait être bien précise étant donnée l'imperfection des nombres lui servant de base. Cependant l'idée était lancée, il ne restait plus qu'à accumuler les matériaux pour la confirmer. C'est ce que fit Jacques Cassini, en 1738. Dans un mémoire à l'Académie des Sciences il montra que la comparaison des observations de la latitude d'Arcturus faites par lui à l'Observatoire de Paris en 1738, avec les positions

trouvée [illegible] à Richer dans son voyage à Cayenne en 1672, prouvait d'une façon certaine qu'en 66 ans Arcturus s'était rapproché de l'écliptique de 2 environ. Les observations de Flamsteed à Greenwich en 1690 ne firent que confirmer ces conclusions.

Toutefois un doute restait qu'il fallait lever à tout prix : l'intervalle entre Arcturus et l'écliptique avait diminué, cela n'était pas contestable : restait à savoir lequel des deux s'était déplacé.

C'est alors que pour trancher la question, Cassini eut l'idée d'en appeler à Tycho-Brahé. Sans doute les observations de cet astronome dataient de 1584 environ, elles avaient été faites à l'œil nu, mais elles étaient infiniment supérieures aux grossières approximations de Ptolémée et de ses contemporains, pour cette raison que Tycho-Brahé s'était servi d'instruments de mesure d'une précision aussi grande que possible à son époque.

Cassini observait en 1738, c'est-à-dire 154 ans après Tycho-Brahé ; or, il fut manifeste que pendant ce long intervalle la latitude d'Arcturus avait diminué de 5'3'' tandis que l'étoile ζ Bouvier située dans le voisinage n'avait éprouvé aucun déplacement sensible dans le même espace de temps. Ainsi, dès lors que l'étoile de comparaison n'avait pas varié, il fallait conclure au déplacement réel d'Arcturus et non à celui de l'écliptique.

Cassini arrive à la même conclusion pour l'étoile Sirius dont le déplacement avait été signalé par Halley. Il va même plus loin puisqu'il reconnaît dans plusieurs étoiles des variations de longitude. Il signale en particulier le cas curieux de trois plus

belles étoiles de la constellation de l'Aigle γ, α, β, rangées presque en ligne droite par ascensions droites croissantes, la plus brillante étant au milieu des deux autres. Or α s'éloigne de β pour se rapprocher de γ, si bien que dans un avenir éloigné, la disposition sera changée, on aura α γ β ; la plus belle étoile sera devenue extérieure aux deux autres.

Ainsi, après les recherches de Cassini on ne peut plus douter que les étoiles soient animées de mouvements propres ou particuliers très différents les uns des autres. L'ancien dogme de la fixité des étoiles a sombré ; il ne reste plus qu'à accumuler les observations de position pour augmenter le nombre des mouvements propres connus. Dès lors le facteur temps devient une donnée fondamentale du problème au même titre que le facteur précision dans les observations.

Les mouvements propres des étoiles ont conduit les astronomes par une conséquence toute naturelle à la découverte du mouvement réel de notre soleil dans l'espace.

En les étudiant, il semble en effet naturel de se demander s'ils ne sont pas précisément une conséquence de notre propre déplacement.

Or nous savons depuis longtemps que le mouvement de la Terre autour du Soleil a une répercussion sur toutes les étoiles : c'est l'aberration, phénomène en vertu duquel tous les astres paraissent décrire annuellement de petites ellipses dont le grand axe est constant. Cependant à cet effet s'en ajoute un second dit de parallaxe annuelle séculaire, qui se poursuit toujours dans le même sens et qui dépend précisé-

ment du véritable entraînement que subit le système solaire à travers l'espace.

Le problème se complique donc étrangement et il est facile d'en concevoir toute la difficulté.

Si le Soleil était seul en mouvement, les étoiles demeurant en repos, les résultats observés dans les déplacements apparents de ces dernières sur la voûte céleste seraient simples et faciles à interpréter. Chaque étoile semblerait voyager en arrière le long d'un grand cercle de la sphère passant par deux points opposés, l'un indiquant la direction vers laquelle tend le Soleil, l'autre celle d'où nous venons. Ainsi toutes les étoiles sembleraient se diriger par un effet de perspective vers un même point du ciel ; et c'est l'endroit diamétralement opposé, celui qu'on appelle apex ou point de mire solaire, qui nous indiquerait le point vers lequel nous nous dirigeons.

Pour chaque étoile en particulier, la valeur du déplacement varierait alors en raison inverse de sa distance, et en raison directe du sinus de la distance angulaire de l'apex. Par conséquent, en déterminant la parallaxe annuelle, même d'une seule étoile dérivant ainsi sensiblement, non seulement nous pourrions connaître la vitesse en kilomètres par seconde du mouvement du Soleil, mais nous en arriverions à déduire par un simple calcul, d'après la quantité relative de son mouvement apparent, la parallaxe de toute autre étoile dérivant d'une façon relative.

Malheureusement, les étoiles ne sont pas au repos ; elles ont des mouvements propres souvent plus rapides que celui du Soleil ; les effets de perspective sont donc ainsi en grande partie masqués, et cependant

ils subsistent. Il est mathématiquement certain que chaque étoile, quelle que soit sa vitesse propre, réfléchit le mouvement du Soleil suivant la position qu'elle occupe par rapport à lui. Dès lors, ce que l'on appelle « le mouvement propre » d'une étoile se compose de deux parties : l'une apparente et due au mouvement du Soleil, l'autre appartenant réellement à l'étoile. C'est cette partie du mouvement due à la marche de notre Soleil dans l'espace qu'il s'agit de retrouver dans toutes les étoiles ayant un mouvement apparent sensible. Le problème, on le voit, est extrêmement complexe et il a fallu le génie de William Herschel pour en esquisser la solution.

Longtemps auparavant cependant, Fontenelle avait conçu l'idée de la possibilité de ce mouvement de translation du Soleil : « Toutes les étoiles fixes, dit-il, sont autant de soleils, centres, comme notre Soleil, chacun dans son tourbillon, mais centres seulement à peu près, et qui peuvent se mouvoir autour d'un autre point central général. Le Soleil pourrait lui-même se mouvoir de cette façon ».

Mais en 1748, Bradley fut beaucoup plus précis : « Si l'on conçoit que notre système solaire change de place dans l'espace absolu, il pourrait à la longue en résulter une variation apparente dans la distance angulaire des étoiles fixes ; alors, la position des étoiles voisines étant plus affectée que celle des étoiles très éloignées, leurs situations relatives pourront sembler altérées, bien que toutes les étoiles soient restées réellement immobiles. D'autre part si notre système est en repos et quelques étoiles animées d'un mouvement, leurs positions apparentes varieront

réellement d'autant plus que les mouvements seront plus rapides, plus convenablement dirigés pour être bien vus et que la distance des étoiles à la Terre se trouvera moindre. Mais les positions relatives des étoiles sont ainsi soumises à tant de causes de changement que, si l'on considère la distance énorme à laquelle certains astres sont placés, on admettra sans difficulté que la découverte des lois de ces changements apparents nécessitera les observations de beaucoup de siècles ».

Le mouvement du système solaire dans l'espace faisait partie du système cosmique que Thomas Wright proposa dans sa théorie de l'Univers publiée en 1750. D'après lui, le Soleil avec son cortège de planètes et toutes les étoiles du firmament, sont en continuel mouvement.

En 1760, Mayer pour la première fois essayait de déduire un résultat certain de l'examen des mouvements propres des étoiles ; ses recherches sur ce sujet sont contenues dans un mémoire communiqué à l'Académie des Sciences de Gottingen et inséré plus tard dans le premier volume de ses « Opera inedita » paru en 1771. Après avoir dressé un catalogue des mouvements propres de 80 étoiles, il montre qu'on peut également expliquer ces mouvements, soit en imaginant les étoiles animées de mouvements réels, soit en les supposant fixes et en admettant que le Soleil mobile entraîne avec lui la Terre et les autres planètes. Dans cette dernière hypothèse, les constellations vers lesquelles se dirige le Soleil doivent augmenter graduellement de dimension, tandis que les constellations opposées diminuent. « C'est

ainsi, ajoute-t-il, que dans une forêt, les arbres à la rencontre desquels marche le promeneur lui semblent progressivement s'écarter les uns des autres, alors que les arbres situés à l'opposé paraissent au contraire se rapprocher ». Toutefois dans sa conclusion il maintient que rien dans les mouvements propres observés ne fournit la preuve d'un déplacement quelconque du Soleil.

L'année suivante (1761), Lambert dans ses *Lettres cosmologiques,* envisage la possibilité du fait que toutes les étoiles, y compris le Soleil, aient un mouvement dans l'espace ; mais pour lui le mouvement de rotation du Soleil sur son axe n'implique pas nécessairement un mouvement de translation. Et Mérian qui adopte les mêmes idées écrit en 1770 : « Comme le déplacement apparent des étoiles dépend du mouvement du Soleil aussi bien que de leur mouvement propre, il y aura peut-être un moyen de conclure de là vers quelle région du ciel notre Soleil prend sa course ».

Lalande soutient avec raison que le mouvement de rotation ne va pas sans le mouvement de translation : « Le mouvement de rotation du Soleil, dit-il, a dû être produit par une impulsion qui n'était pas dirigée vers le centre de gravité de l'astre ; mais une force ainsi dirigée n'engendre pas seulement un mouvement giratoire ,un mouvement de translation est la conséquence tout aussi nécessaire de son action, en supposant que le Soleil, déjà condensé dans sa forme actuelle, reçût un choc qui lui imprimât le mouvement de rotation ».

En 1783, William Herschel étudie la question et

arrive à une conclusion diamétralement opposée à celle de Mayer. Ses recherches portent d'ailleurs sur les mouvements propres de sept étoiles brillantes, déterminés par Maskelyne : Sirius, Castor, Procyon, Pollux, Régulus, Arcturus et Altaïr. Ces données semblaient indiquer que le système solaire s'avance vers la constellation d'Hercule en un point situé à 257° en ascension droite et + 25° en déclinaison, soit un peu au Nord de l'étoile λ Hercule.

L'illustre astronome revint bientôt sur ses premières recherches. En 1805, il présentait à la Royal Society un second mémoire sur le mouvement du système solaire. Son étude était basée cette fois sur le catalogue des mouvements propres de 36 étoiles publiés par Maskelyne en 1790. Il fixa l'apex solaire en un point situé à 245° 52' 20'' en ascension droite et 49° 38' en déclinaison boréale. Ce résultat diffère considérablement de celui auquel il était arrivé dans ses premières recherches : ces divergences sont bien de nature à nous montrer la difficulté du problème.

Cependant la plupart des meilleurs astronomes de l'époque refusèrent d'adhérer aux conclusions d'Herschel. Biot dans la seconde édition de son *Astronomie physique* publiée en 1811, après avoir étudié les mouvements propres de plusieurs étoiles, obtenus par la comparaison des observations de Bradley et Mayer avec celles de Maskelyne et Piazzi, fut amené à conclure qu'il n'existe pas de raisons suffisantes pour admettre que le système solaire se meut dans une direction déterminée.

Bessel dans ses *Fundamenta Astronomiæ* publiés en 1818 arrivait à la même conclusion : il n'y aurait,

d'après lui, aucune évidence prépondérante en faveur de la direction supposée du Soleil vers un point de la constellation d'Hercule. « On peut trouver, dit-il, plusieurs points de la sphère céleste, assez éloignés les uns des autres, même diamétralement opposés, vers lesquels vont converger les directions des mouvements propres d'un assez grand nombre d'étoiles ; mais il reste toujours trop de mouvements propres en dehors pour qu'il soit possible de préférer avec certitude un point de concours aux autres ».

Burckhardt, Sir John Herschel et beaucoup d'autres, sans vouloir s'astreindre à démontrer la légitimité des conclusions de Bessel, partageaient la même incrédulité.

Mais l'apparition en 1837 d'une thèse présentée à l'Académie de Saint-Pétersbourg par Argelander changea l'aspect de la question. William Herschel avait basé ses calculs sur un très petit nombre d'étoiles ; Argelander avait à sa disposition 390 étoiles douées de mouvements propres déterminés avec la plus scrupuleuse exactitude par la comparaison des observations de Bradley avec celles qu'il avait lui-même exécutées à Abo en Finlande. Il trouva ainsi pour la position du point du ciel vers lequel le Soleil se dirige (rapportée à l'équinoxe moyen de 1792)

Ascension droite	Déclinaison
259° 47',6	+ 32° 29',5

Ce résultat déduit d'une méthode fondée sur l'un des principes les plus délicats des sciences mathématiques, présente un tel accord avec la grossière détermination d'Herschel en 1783, qu'il fit en grande

partie disparaître les doutes que certains nourrissaient encore au sujet des conclusions du grand astronome hanovrien.

Bessel, en 1843, à propos d'une biographie d'Herschel, abordait de nouveau la question. Sans se rendre entièrement, il reconnut pourtant que le travail d'Argelander présentait de plus nombreuses garanties que toutes les déterminations antérieures.

Peu après, Otto Struve, en basant ses recherches sur les mouvements propres de 400 étoiles environ, fut conduit à choisir comme direction de l'apex pour l'époque 1792 :

Ascension droite	Déclinaison
259° 9',4	+34° 36',5

« Le mouvement du système solaire dans l'espace, écrivait-il dans ses *Études d'astronomie stellaire*, est dirigé vers un point de la voûte céleste situé sur la ligne droite qui joint les deux étoiles de troisième grandeur π et μ Hercule, à un quart de la distance apparente de ces étoiles à partir de π Hercule. La vitesse de ce mouvement est telle que le Soleil, avec tous les corps qui en dépendent, avance annuellement dans la direction indiquée de 1,623 fois le rayon de l'orbite terrestre (ce qui donnerait d'après la valeur actuelle de la parallaxe solaire 242 000 000 kilomètres) avec une erreur de un septième en plus ou en moins ». D'après cet astronome, l'espace, parcouru par le Soleil en une année sous-tend un arc égal à 0",3392, vu à la distance moyenne des étoiles de première grandeur.

Or il fixe la parallaxe moyenne des étoiles de

cette classe à 0'',209, ce qui lui permet de conclure que l'espace parcouru annuellement par le Soleil dépasse le rayon de l'orbite terrestre dans la proportion de 0'',3392 à 0'',209. C'est ainsi qu'il trouve que l'espace absolu traversé par le système solaire dans le cours d'une année est de 1,623 rayons de l'orbite terrestre, ce qui équivaut à 242 000 000 kilomètres.

Sans nous arrêter à parler de toutes les autres déterminations dont chacune se servait d'un groupe spécial d'étoiles et dont quelques-unes se servirent aussi des mouvements stellaires observés dans l'hémisphère austral, qu'il nous suffise de rappeler ici que le mouvement solaire seul fut suffisant pour rendre compte des mouvements propres des étoiles employées et qu'il convenait dès lors de rechercher s'il n'existait pas des mouvements systématiques des étoiles de nature à expliquer les discordances susdites comme dues à la diversité même des groupes d'étoiles choisis.

De cette façon l'étude du mouvement propre du Soleil devenait d'une grande utilité pour la découverte des lois qui ont présidé à la construction de l'univers sidéral. On en vit une preuve, p. ex., en 1905 quand MM. Dyson et Thackeray à Greenwich basèrent leurs recherches sur les mouvements propres des étoiles circumpolaires de Groombridge. Traitant séparément les étoiles du premier type spectral et du second type, ils obtinrent dans chaque cas des directions nettement différentes pour la route du Soleil.

Ainsi il existe dans le ciel des groupes particu-

liers d'étoiles de composition diverse, et qui suivent des directions propres ; nous allons voir que des études tout à fait indépendantes des mouvements propres stellaires démontrent ce fait d'une façon en apparence irréfutable.

Au début du siècle, en effet, le professeur Kapteyn de Groningue, après une discussion approfondie des mouvements des étoiles de Bradley arrivait à cette conclusion que l'Univers stellaire est formé de deux courants d'étoiles qui se pénètrent mutuellement et que toutes les étoiles examinées appartiennent à l'un ou l'autre de ces deux systèmes.

A la même époque et tout à fait indépendamment, M. H. C. Plummer, de l'Observatoire de l'Université d'Oxford, faisait remarquer que les faits connus indiquent l'existence de plus d'un univers.

Cependant, à l'Observatoire de Greenwich, MM. Dyson et Thackeray faisaient une nouvelle réduction des mouvements propres des étoiles du catalogue de Groombridge. Le nombre des étoiles comprises dans ce catalogue est d'environ 4200, toutes sont situées dans une zone distante de moins de 38° du pôle nord. Devant cette masse de matériaux très précis, M. Eddington résolut de reprendre les recherches de Kapteyn. Il arriva ainsi à la conclusion que les deux courants de Kapteyn se retrouvent dans tous les cas et que toutes les étoiles, jusqu'au moins la grandeur 9,5, au nombre de plus d'un demi-million, sont comprises dans la théorie. Les étoiles de l'un des courants semblent venir d'un point situé à 270° en ascension droite et + 18° en déclinaison, tandis que l'apex du second courant devrait être placé

à 112° 30' en ascension droite et + 58° en déclinaison. Notre Soleil semble appartenir à ce second courant.

M. Eddington a déterminé également le mouvement du Soleil par rapport aux deux courants combinés et a trouvé comme coordonnées de l'apex solaire :

Ascension droite	Déclinaison boréale
266° 15'	31°

Cette position naturellement se trouvait très voisine de l'apex du premier courant.

En 1908, le professeur Kobold, de l'Observatoire de Kiel, a repris le problème des courants stellaires et sa conclusion est venue confirmer d'une façon générale les résultats précédemment obtenus.

L'originalité de son travail a consisté surtout à mettre en lumière une erreur systématique introduite dans toutes les déterminations des savants qui avaient antérieurement recherché la position de l'apex solaire. Il est évident que cette erreur doit être assez grande si le Soleil se meut en même temps qu'un courant d'étoiles, sorte d'essaim voyageant de concert avec lui. Or, c'est précisément ce qui résulte de l'étude des mouvements propres de 2 262 étoiles. La nouvelle méthode a permis de fixer la position de l'apex solaire au point qui a pour coordonnées

Ascencion droit	Déclinaison boréale
270°,2	0°,2

Ce point est situé dans la Voie Lactée et très proche du radiant de l'un des courants du professeur Kapteyn.

Quant à la vitesse avec laquelle le système solaire se dirige dans l'espace, la méthode suivie jusqu'en ces dernières années ne pouvait donner que des renseignements peu précis et subordonnés à diverses hypothèses plus ou moins justifiées. Il fallait connaître, par exemple, les distances des étoiles étudiées ; or, ces distances ne pouvaient être fixées que très précairement, et encore pour certaines classes d'étoiles seulement.

O. Struve avait trouvé par l'examen des mouvements propres de 392 étoiles, que la distance parcourue par le Soleil en une année est égale à la distance moyenne des étoiles de première grandeur divisée par 600 000. Or, la parallaxe moyenne des étoiles de la première grandeur serait d'après Elkin de 0,089 seconde d'arc, ce qui correspond à une distance de 2 317 500 fois environ la distance du Soleil à la Terre. Par conséquent la distance parcourue par le Soleil en une année serait environ quatre fois la distance du Soleil à la Terre ou à peu près les deux tiers de la vitesse de la Terre sur son orbite autour du Soleil. Or, comme cette dernière vitesse est d'environ 29 kilomètres à la seconde, nous avons pour la vitesse du Soleil dans l'espace environ 19,3 kilomètres par seconde. Avec la méthode de Struve, d'autres astronomes ont trouvé une vitesse variant de 10 à 50 kilomètres par seconde. La différence de ces résultats est due surtout à notre connaissance imparfaite des distances des étoiles de différentes grandeurs.

Toutefois, Kapteyn et Newcomb, après avoir très perfectionné les méthodes de leurs prédécesseurs,

s'accordaient à fixer à 16 kilomètres par seconde la vitesse approximative du voyage solaire.

Cependant, depuis une vingtaine d'années, on possède une méthode plus directe pour résoudre cet important problème. Cette méthode repose sur ce que l'on appelle en physique le principe de Doppler-Fizeau. Rappelons brièvement en quoi il consiste.

Christian Doppler, professeur de mathématiques à Prague, montra en 1842, que la couleur d'un corps lumineux, comme la hauteur du son émis par un corps, doit varier suivant que le corps s'approche ou s'éloigne. En voici la raison : la couleur et le son considérés subjectivement ne sont que des effets physiologiques, dépendant, non de la longueur d'onde absolue, mais du nombre d'ondes entrant dans l'œil ou l'oreille dans un intervalle de temps donné. Ce nombre, il est facile de le voir, doit augmenter si la source lumineuse ou sonore s'approche de nous ; il doit au contraire diminuer si la distance de cette même source va en augmentant. Dans le premier cas, le corps vibrant presse les unes contre les autres les ondes qui émanent de lui, ces ondes se superposant d'une façon de plus en plus dense ; dans le second cas, le corps s'éloignant, les ondes se raréfient et l'espace occupé par un nombre identique d'ondes se trouve ainsi augmenté.

En ce qui regarde le son, tout le monde peut se convaincre de la réalité de l'effet prédit par Doppler ; il suffit d'écouter le sifflet d'une locomotive franchissant une station en pleine vitesse. Le son, de plus en plus aigu, à mesure que la machine se rapproche, baisse ensuite très rapidement dès qu'elle s'éloigne.

Cependant Doppler ne réussit pas à appliquer son système au mouvement des astres. L'étoile en se rapprochant, devait changer de couleur, croyait-il ; perdre la lumière rouge, par exemple, et devenir orangée ou jaune ; en s'éloignant, au contraire, elle perdait le violet qui devenait bleu ou vert ; d'où un changement général de couleur de l'étoile. Théoriquement, le fait n'est pas douteux ; mais, en pratique, il est impossible d'appliquer le critérium au Soleil ou aux étoiles, parce qu'elles brillent d'une lumière continue. Leur spectre entier se déplace légèrement dans un sens ou dans l'autre sur l'échelle de réfrangibilité ; certains rayons normalement visibles passent dans l'ultra-violet ou l'infra-rouge ; d'autres, au contraire, invisibles en temps ordinaire, sont vus à l'une des extrémités du spectre ; mais, de toutes façons la somme totale des impressions sur la rétine reste la même.

Fizeau, en 1848, montra cependant comment on pouvait appliquer le principe de Doppler. Dans le spectre, fit-il remarquer, il n'y a pas que les couleurs à considérer ; nous observons encore une série de raies qui, normalement, occupent une certaine position facile à déterminer d'une façon très exacte ; dans certaines conditions de mouvement, ces raies doivent suivre la dérivation générale du spectre et se déplacer, soit vers le rouge, soit vers le violet. Il suffit donc de mesurer ce faible déplacement pour savoir de combien le corps observé se meut vers nous ou dans une direction opposée.

En fait, le principe appliqué aux étoiles s'est montré, ces dernières années surtout, d'une très grande

utilité ; il nous a même indiqué les vitesses radiales des astres, autrement dit, leurs mouvements sur la ligne de vision. Il permet ainsi, même pour les étoiles ayant un mouvement apparent perpendiculaire au nôtre, de déterminer la composante réelle de ce mouvement.

Dans l'étude de la marche du Soleil, il était dès lors possible d'arriver à des chiffres absolus relativement précis. Il suffisait, en effet, de comparer la vitesse radiale moyenne d'un grand nombre d'étoiles situées dans la direction suivie par le Soleil avec la vitesse radiale des étoiles que nous laissons derrière nous. Les mouvements de rapprochement doivent, dans l'ensemble, dominer dans le premier cas ; les mouvements d'éloignement dons le second ; la moitié de la différence moyenne représente alors la vitesse de transport de notre système relativement aux étoiles employées pour la comparaison. Peu importe d'ailleurs la distance des objets considérés ; les effets produits par le rapprochement ou l'éloignement sur la lumière émise par les astres en mouvement étant physiques et réels, la distance ne les modifie pas. Qu'ils s'effectuent aux confins de l'univers sidéral ou à la limite même de notre atmosphère, ils sont les mêmes pour des vitesses identiques et quand la source lumineuse est suffisante, on les découvre avec une égale facilité.

Malgré sa simplicité, cette méthode ne fut utilisée d'une façon efficace qu'au début de notre siècle. Si les premières expériences faites à Potsdam sur les vitesses radiales de 51 étoiles ne furent à proprement parler que des tentatives, l'application du prin-

cipe s'affirma néanmoins comme possible et l'on fonda sur lui les plus belles espérances.

C'est ainsi que Vogel déduisit de cet essai un mouvement de translation du Soleil égal à 12 kilomètres avec une erreur probable de 3 kilomètres en plus ou en moins. La vitesse propre de l'astre aurait, dès lors, été comprise entre le tiers et la moitié de celle de la Terre sur son orbite ; il y avait là une certaine divergence avec les chiffres de O. Struve et de L. Struve, qui, en employant les valeurs hypothétiques des distances des étoiles, avaient obtenu les deux tiers de cette vitesse.

On n'avait jusqu'à cette époque observé aucun déplacement appréciable des nébuleuses ; la méthode spectroscopique, tout en donnant la possibilité d'aborder cette question, pouvait en même temps fournir d'intéressantes données sur le problème de notre mouvement propre. C'est ainsi que Keeler, à l'Observatoire Lick, détermina en 1890-91 les vitesses radiales de 14 nébuleuses non résolubles en mesurant les faibles déplacements de deux raies brillantes dans leur spectre. Corrigeant les observations en raison du mouvement de translation de la Terre, il a obtenu les vitesses radiales, pour les 14 nébuleuses rapportées au Soleil :

+ 18	kilomètres	+ 41	kilomètres
— 10	»	— 51	»
+ 6	»	— 65	»
— 34	»	— 10	»
+ 48	»	— 50	»
— 17	»	+ 10	»
— 5	»	— 11	»

Le signe + indique que la nébuleuse s'éloigne, le signe — qu'elle se rapproche : mais les chiffres ne sont qu'une résultante, il faudrait savoir de quelles quantités ils sont affectés par notre mouvement propre de translation.

C'est précisément le problème que Tisserand se proposa d'aborder : supposant connu le point de l'apex, il admet en principe que les 14 vitesses particulières aux nébuleuses doivent se compenser dans l'ensemble, comme s'appliquant à des mouvements dirigés dans les sens les plus divers : il arriva ainsi au chiffre de 15 kilomètres, peu différent en somme de celui qu'avait déduit Vogel des vitesses radiales d'un certain nombre d'étoiles.

En 1901 le professeur Campbell ayant réuni avec le spectrographe Mills des matériaux suffisants, déduisit un mouvement solaire de 20 kilomètres environ par seconde vers un point situé à 227°30' en ascension droite et + 20° en déclinaison. Cette vitesse se trouvait en parfait accord avec celle que venait d'obtenir M. Monck, de Dublin ; en comparant les mouvements du Soleil à ceux de 2 000 étoiles du catalogue de Porter, ce dernier avait conclu en effet que la vitesse solaire est comprise entre 16 et 24 kilomètres par seconde.

Cette vitesse de 20 kilomètres par seconde est regardée généralement comme exacte à un ou deux kilomètres près. Quant à la direction admise par Campbell, elle est plus sujette à caution parce que les 280 étoiles ayant servi de base aux calculs se trouvent, pour la plupart, dans l'hémisphère Nord, d'où un déplacement systématique vers l'Equateur.

En 1910, le professeur Stroobant fit une nouvelle détermination de vitesse du système solaire dans l'espace. Après avoir discuté les solutions antérieures du problème, il adopta la dernière valeur donnée par Newcomb pour l'apex :

Ascension droite	Déclinaison boréale
277°,5	35°

et se basant sur les plus récentes déterminations des vitesses radiales des étoiles, il calcula le déplacement du Soleil dans cette direction.

De la discussion de 49 étoiles situées près de l'apex supposé, M. Stroobant a trouvé 18,75 kilomètres comme vitesse de translation de notre système, tandis que 15 étoiles entourant l'anti-apex lui ont donné 21,55 kilomètres par seconde. En combinant ces résultats, il a trouvé que, en ce qui concerne les étoiles visibles à l'œil nu, le système solaire voyage vers l'apex supposé avec une vitesse de 19 km. 40 par seconde. Cette valeur est un peu inférieure à celle (19 km. 89 _ 1,52 km.) donnée par Campbell d'après l'apex qu'il avait lui-même calculé ; elle représente un déplacement annuel de 4,10 unités astronomiques. Dans son travail très documenté et très consciencieux, M. Stroobant a classé de diverses façons les étoiles étudiées, donnant leurs positions, leurs grandeurs, leurs types spectraux, etc. et il montre que les étoiles de types différents fournissent des valeurs diverses pour la vitesse du système solaire ; ainsi 20 étoiles du type Orion donnent une valeur moyenne de 22,5 km. et semblent constituer un système individuel dans l'univers stellaire.

Vers la même époque les professeurs Frost et Kapteyn publiaient la discussion d'une nouvelle valeur de la vitesse du Soleil à travers l'espace : celle-ci avait été obtenue au moyen de la vitesse radiale des étoiles du type Orion. Les auteurs ne prirent que des étoiles peu éloignées de l'apex et de l'anti-apex, fixant l'apex à

Ascension droite	Déclinaison boréale
269°,7	30°,8

pour l'année 1875, 0. Ils montrèrent en outre que les étoiles Orion sont en général à une grande distance de la Terre. Ce pourrait être l'explication du fait que la vitesse obtenue est de 2 kilomètres environ par seconde plus grande que celle trouvée par Hough et Halm qui se sont servi d'un grand nombre d'étoiles voisines ; peut-être ces étoiles participent-elles jusqu'à un certain point au mouvement du Soleil dans l'espace.

Détail remarquable, la vitesse solaire relativement aux étoiles voisines de l'apex est d'une dizaine de kilometres par seconde inférieure à la vitesse rapportée aux étoiles près de l'anti-apex, les solutions séparées donnant respectivement 18 kilòm. 38 et 28 km. 38. D'après les auteurs cette différence serait due à ce que les étoiles près de chaque point appartiennent aux deux grands courants stellaires. La valeur moyenne donnée comme résultat définitif de ce travail est de 23 km. 3 par seconde.

Le professeur Boss arrive même à un chiffre plus élevé. Ses recherches qui ont porté sur les mouvements propres de plus de 5 000 étoiles, uniformément

distribuées dans le ciel entier, lui ont permis de déterminer la position de l'apex solaire et de faire certaines corrections aux valeurs de Newcomb pour les précessions et pour l'équinoxe de 1874.

Il fixe la position de l'apex pour 1875, 0 à

Ascension droite	Déclinaison boréale
270°,52 ± 1°,08 à ± 1°,53	+ 34°,28 ± 0°,90 à ± 1°,28

Comme ses devanciers il trouve des positions différentes suivant les étoiles choisies, les grandeurs, les mouvements propres, etc., mais ces positions sont assez voisines les unes des autres.

Quant à la vitesse du Soleil dans l'espace, le professeur Boss trouve que nous pouvons adopter le chiffre de 24 kilomètres par seconde.

Ce serait là une constante tout au plus provisoire, sans doute, mais assez approchée de la réalité.

D'après lui enfin la valeur (19 km. 9) déduite des observations spectroscopiques est sujette à des objections inhérentes à la méthode.

L'ensemble des résultats de son travail s'est montré tout à fait défavorable à l'existence des courants stellaires bien définis que croient avoir découverts Kapteyn et Eddington ; les mouvements propres seraient en fait dirigés dans tous les sens.

Quelles que soient ces divergences sur des points secondaires dans le sujet qui nous occupe, nous pouvons conclure de la discussion de toutes les données que notre Soleil nous emporte dans la direction générale de la constellation de la Lyre, probablement dans le voisinage de Véga et un peu au Sud de cette étoile.

Notre Soleil est animé d'une vitesse comprise entre 20 à 24 kilomètres par seconde : le chemin parcouru en une année vaut donc environ 4 ou 5 fois la valeur du rayon de l'orbite terrestre.

Si Véga n'était pas plus éloignée que α Centaure notre plus proche voisine, il nous faudrait, pour l'atteindre, voyager pendant 70 000 années en admettant le chiffre minimum, pendant 56 000 ans seulement si l'on choisit la vitesse maxima.

Mais ce n'est là qu'une comparaison, car en fait Véga est près de 6 fois plus loin que α Centaure (5,8 environ) ; il faut donc augmenter les chiffres précédents dans la même proportion et nous pouvons dire que si Véga restait à la même place dans le ciel nous arriverions dans son voisinage après un long voyage dont la durée serait comprise entre 325 000 et 400 000 ans.

Mais que sont 4 000 siècles dans l'histoire des cieux ! Si l'humanité existe encore à cette époque, lointaine pour nous, soyez certains qu'elle verra de nouveaux cieux et qu'elle pourra résoudre cette autre question que nous pouvons d'ores et déjà nous poser : Quel genre de trajectoire décrivons-nous ?

Quelque solution que donne l'avenir à ce nouveau problème, nous pouvons toutefois être assurés que dans 400 000 ans les constellations de la voûte céleste n'auront plus aucune ressemblance avec celles que nous avons accoutumé d'admirer.

L'Énigme de nos Origines

En marge de l'Astronomie physique et de la Mécanique céleste, il existe une science assez peu connue et qui a nom Cosmogonie. Empruntant les données de la première et les certitudes mathématiques de la seconde, cette science qui ne tend rien moins qu'à surprendre les secrets de l'origine et de l'évolution de l'Univers, a reflété, depuis Kant, toutes les vicissitudes de nos théories sur la constitution de la matière et les lois qui la régissent.

Kant soutient, dans la *Théorie du ciel*, que la matière devait être réduite au début à un état de division extrême ; les particules les plus grosses ayant attiré les plus faibles, des masses se formèrent peu à peu : ce furent les étoiles.

Notre Soleil dérive, selon lui, d'un mécanisme analogue ; mais, ici, les choses se compliquent : Pourquoi les planètes tournent-elles autour du Soleil dans le sens même de la rotation de cet astre ? L'auteur suppose que les éléments, dans leur chute vers le centre d'attraction, se sont gênés mutuellement -- il y a eu des déviations latérales en cours de route ; le choc, en arrivant au but, a donc

été plus ou moins tangentiel, d'où rotation finale. Grâce à ces déviations, il s'est aussi formé çà et là des tourbillons dont l'ensemble, en raison des chocs, ne laissa plus subsister que des mouvements circulaires de même sens que la rotation du Soleil.

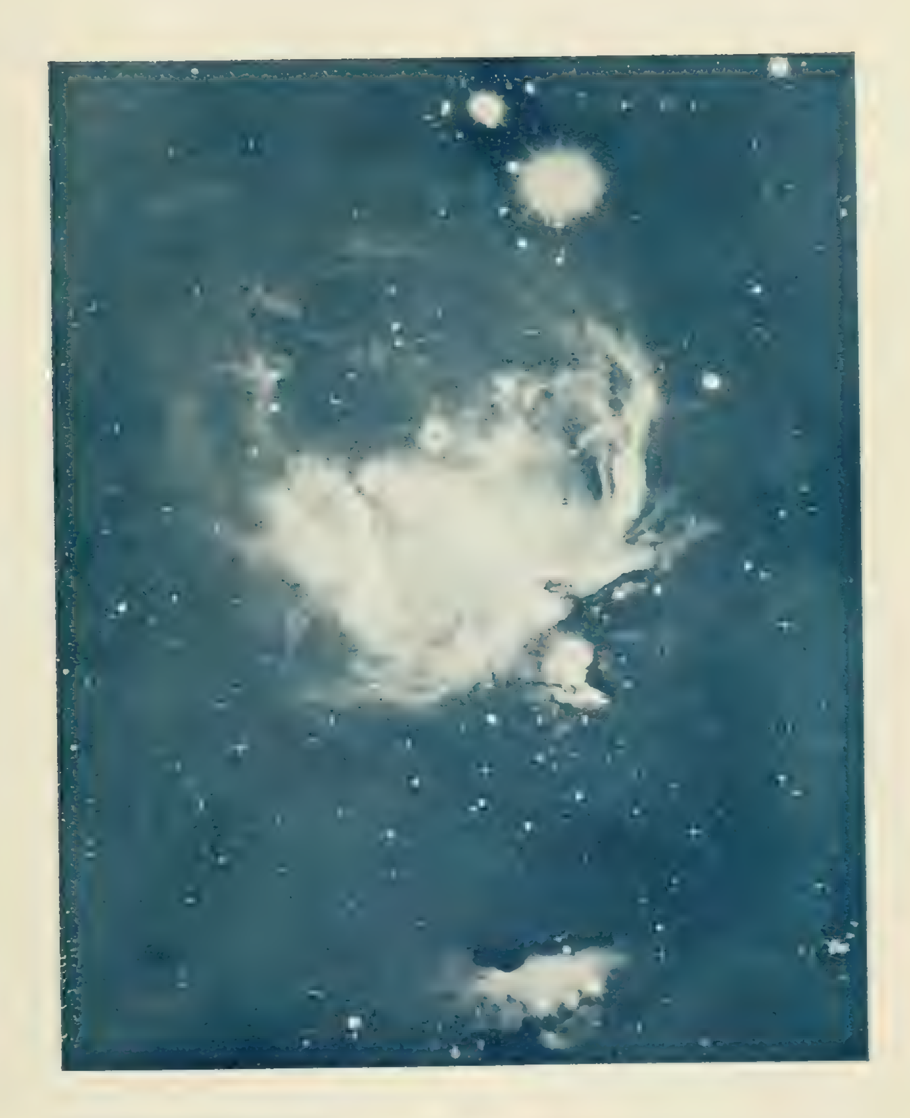
Dans cette procession en rond de petites masses agglomérées, les plus gros objets devaient finir par englober les plus petits : l'évolution des planètes commençait.

Une tentative aussi neuve et aussi hardie venait avant l'heure ; elle ne pouvait éveiller qu'un faible écho dans le monde savant. Kant lui-même s'orienta vers d'autres recherches et lorsque, quarante années plus tard, Laplace abordait le même sujet, l'hypothèse kantienne était tombée dans l'oubli.

On a dit et répété que le célèbre auteur de la *Mécanique céleste* n'avait même pas connu l'œuvre de son prédécesseur ; et pourtant, plus d'un passage de l'*Exposition du système du Monde* rappelle presque textuellement certaines phrases de la *Théorie du Ciel.* A vrai dire cependant, les points de contact sont rares et les nébuleuses de Kant et de Laplace n'ont de commun que l'étiquette.

Le géomètre français n'envisage pas l'évolution d'un milieu raréfié partant de l'état de repos pour arriver aux mouvements constatés dans le monde solaire actuel ; sa nébuleuse est une masse sphérique de gaz portés à une très haute température.

On a fait à Kant le reproche d'avoir méconnu un principe essentiel de la mécanique : " Si, dans une nébuleuse, nul mouvement de rotation ne préexiste à l'origine, mécaniquement, on ne peut concevoir



(d'après une photographie)

Grande Nébuleuse d'Orion

aucun processus qui aboutisse à lui communiquer cette sorte de mouvement ". L'énoncé de ce théorème suppose toutefois que la nébuleuse est soustraite à toute action étrangère. Était-ce bien le cas envisagé par Kant ? C'est ce qu'il faudrait démontrer en toute rigueur.

Quoiqu'il en soit, Laplace ne saurait encourir semblable reproche... pour la raison très simple qu'il se donne un rotation initiale. Ainsi, sa nébuleuse, qu'il étend dès l'abord jusqu'à la région extrême planétaire, tourne sur elle-même en se contractant. Comme dans la célèbre expérience de la goute d'huile de Plateau, elle va donc s'aplatir et laisser échapper des anneaux successifs. La rupture de ces anneaux donnera lieu à des globes distincts qui pourront eux-mêmes fournir des satellites par un mécanisme analogue.

D'après l'exposé même de Laplace, tous les mouvements dans une telle nébuleuse, circulations et rotations, devront refléter la rotation initiale ; ils seront donc *directs*.

En fait, lorsque parut l'*Exposition du système du monde*, en 1796, Soleil, planètes et satellites tournaient précisément dans ce même sens direct ; et cette constatation faisait dire à Laplace " qu'il y avait plus de quatre mille milliards à parier contre un que ceci n'était pas dû au hasard ", mais était le résultat fatal du mouvement originel de la grande nébuleuse primitive.

A ceux qui auraient objecté que bon nombre de comètes tournent dans le sens contraire à la théorie, Laplace avait une réponse toute prête : ces as-

tres, disait-il, n'appartenaient pas primitivement à notre système ; ce ne sont que des intrus punis de leur témérité ; dans leur vol à travers les espaces intersidéraux, ils se sont approchés trop près de notre Soleil qui les a capturés et pliés à jamais sous le joug de sa puissante attraction.

Or, peu d'années après que Laplace eut proclamé sa théorie avec une si belle assurance, l'expérience montra que le calcul des probabilités n'avait jamais mieux mérité son nom ; on découvrait des satellites à Uranus et à Neptune et, malgré les quatre mille milliards de chances contre une que leurs mouvements fussent directs, le sort se décidait pour le sens rétrograde !

Autre échec non moins sensible : les planètes, dans la théorie de Laplace, doivent, suivant un principe connu de mécanique, tourner plus vite que leurs satellites ; or tel n'est pas toujours le cas : Phobos, le premier satellite de Mars, accomplit sa révolution en une période trois fois plus courte que la rotation de sa planète et le bord intérieur de l'anneau de Saturne manifeste une particularité analogue.

Devant un désaccord aussi formel entre la théorie et l'observation, que fallait-il faire ? Abandonner l'hypothèse, évidemment, ou plutôt déblayer le terrain et bâtir à nouveaux frais. Mais tel est prestige qu'exercent les hommes de génie sur les générations, que celles-ci préfèrent suivre leurs idoles que s'avouer leur erreur. En vain, les progrès d'une science nouvelle, la Thermodynamique, s'accordèrent-ils à montrer l'insuffisance des conceptions de

Laplace ; bien que le grand géomètre eût lui même présenté son hypothèse " avec la défiance que doit inspirer tout ce qui n'est point un résultat de l'observation et du calcul ", ses disciples et ses successeurs se crurent dans l'obligation de réparer les différentes parties d'un édifice qui, manquant de solides fondations, s'écroulait peu à peu.

Comment dès lors expliquer que des mathématiciens de la valeur du regretté Henri Poincaré aient pu dire en parlant de l'antique hypothèse : " Malgré les objections qu'on lui a opposées, malgré les découvertes que les astronomes ont faites et qui auraient bien étonné Laplace, elle est toujours debout et c'est encore elle qui rend le mieux compte des faits ? "

C'est qu'en réalité, si l'auteur de la *Mécanique céleste* revenait parmi nous, il lui faudrait réétudier sa théorie, il ne reconnaîtrait plus son œuvre. Celle-ci, en effet, comparée à l'hypothèse kantienne, marquait, à notre avis, non un progrès mais un recul. Elle n'en a pas moins suscité de remarquables travaux ; parce qu'elle fut à proprement parler une *hypothesis working,* elle devait jouer en Cosmogonie le même rôle que la doctrine de Darwin dans le domaine des sciences biologiques. Grâce à elle, toute une pléïade de savants, comme Lord Kelwin, Kirwood, Croll, C. Wolf de Paris, Roche de Montpellier, etc..., ont abordé le problème de la condensation du Soleil, celui de la formation des anneaux, de leur rupture et de leur stabilité, tandis que plus récemment sir Georges Darwin étudiait à fond et

sous un jour nouveau, la question des marées appliquée à la formation des satellites.

Entre temps, M. Maurice Fouché démontrait qu'étant donnée la rotation lente du Soleil, si l'on veut revenir en arrière et diffuser la matière primitive en une sphère gazeuse s'étendant jusqu'à l'orbite de Neptune, on se heurte à une impossibilité mécanique absolue ; on aboutit en effet à une rotation initiale insignifiante. Veut-on, au contraire, conserver cette vitesse, pour ne pas sortir de l'hypothèse de Laplace, on obtient dès lors un milieu tellement raréfié qu'on perd le droit de lui appliquer les propriétés des gaz et des vapeurs et par suite, celui de le soumettre aux lois posées par Laplace dans son *Etude des atmosphères*. Dans l'un et l'autre cas, est-il besoin de le faire remarquer, la génération d'anneaux n'est plus concevable.

Au surplus, un milieu aussi raréfié que celui auquel on aboutit, si l'on diffuse tous les matériaux composant le Soleil et les planètes, dans une sphère d'un immense rayon, ne saurait présenter un haut degré de température ; d'après nos théories modernes sur la chaleur, un tel milieu ne peut être qu'obscur et froid. C'est la condensation des éléments en sphères de faible rayon qui, déterminant les chocs, peut seule nous procurer le haut degré thermique constaté dans le Soleil et les planètes à leur origine.

Et nous voici ramenés, par des voies détournées, aux principes de la *Cosmogonie* de Kant. Entre la théorie de Faye, publiée dès 1884, et celle du philosophe allemand, nous apercevons, en effet, plus

d'un point commun. Chez l'un comme chez l'autre, les tourbillons interviennent dans un milieu rare ; l'attraction fait le reste. Avec la différence, cependant, que l'hypothèse de Faye bénéficie de toutes les découvertes réalisées dans les domaines les plus variés de la science depuis le milieu du XVIIIe siècle.

L'ensemble des mouvements à peu près circulaires présentés par notre système milite en faveur d'une nébuleuse sphérique à l'origine ; Laplace l'avait déjà fait remarquer et Faye maintient cette proposition ; mais, cette fois, la nébuleuse sera froide et ce sera surtout l'attraction qui produira la diminution de volume et provoquera la condensation centrale, noyau du Soleil futur.

Ainsi, au début, pas de condensation marquée ; les molécules tournent autour du centre suivant des cercles ou des ellipses qu'elles décrivent *dans le même temps ;* la pesanteur interne, résultant des forces attractives de toutes les molécules, varie en raison directe de la distance au centre. Ce n'est que plus tard, après la formation d'une agglomération centrale, que la loi de l'inverse du carré apparaîtra.

Comment, dans un tel milieu, des anneaux générateurs de planètes vont-ils se dessiner ? Faye ne précise pas. Comme dans la *Théorie du ciel,* il est seulement question de tourbillons et de spires assez peu différentes de cercles, et, la résistance aidant, les anneaux surgissent. Ceux-ci sont-ils formés au début sous l'empire de la première loi de la pesanteur, leur rupture donnera lieu aux rotations directes. Par contre, vers la fin, planètes et satellites tourneront dans le sens rétrograde.

Faye tombait ainsi sans s'en douter dans cette sorte d'erreur qu'il reprochait à Laplace : " Si l'on vient, écrivait-il, à découvrir un satellite à une planète, on peut être sûr qu'il circulera autour d'elle dans le sens de la rotation de celle-ci ". La troisième édition de l'*Origine du monde* paraissait en 1896 et deux années plus tard W.-H. Pickering découvrait Phœbé, le neuvième satellite de Saturne..., il tournait à l'envers des huit premiers et à l'envers de sa planète !

Le premier coup était porté ; les mieux intentionnés y virent un accident facilement réparable et l'on parla de capture fortuite ; mais, depuis, les captures de ce genre se sont multipliées : les deux derniers satellites de Jupiter, eux aussi, sont animés d'un mouvement rétrograde, inverse de celui des autres.

Malgré ces critiques, d'ailleurs fort incomplètes, nous devons proclamer bien haut qu'il revient à Faye l'honneur d'avoir assis l'ancienne hypothèse nébulaire sur des bases scientifiques vraiment sérieuses. Il ne restait plus qu'à préciser certains points en comblant les lacunes ; tâche encore ardue qu'assuma le colonel du Ligondès. Son ouvrage *Formation mécanique du Système du Monde*, paru en 1897, marque un réel progrès sur les cosmogonies antérieures. Pour construire le Système solaire en partant des principes de Faye, l'auteur exige toutefois deux postulats : une nébuleuse légèrement aplatie à l'origine et une faible prépondérance en faveur de la circulation directe. Dès lors, l'application des lois de la mécanique suffit pour montrer

qu'il se formera autour de la condensation centrale une sorte de disque équatorial générateur d'anneaux où seuls subsisteront finalement les mouvements directs.

Par d'ingénieuses déductions, que d'aucuns ont jugées quelque peu artificielles, M. du Ligondès pense qu'il lui est possible d'expliquer les plus petites particularités du système solaire. Bien que H. Poincaré juge une telle tentative assez prématurée, en raison de nos connaissances actuelles, on ne peut nier que la nouvelle théorie renferme une foule d'aperçus nouveaux bien propres à orienter les recherches futures.



Au reste, le problème cosmogonique parait, à l'heure présente, traverser une crise dont il est permis d'attendre les plus heureux effets.

La complexité des sciences qui tentent l'assaut de la forteresse où la matière semble nous dérober les secrets de sa constitution ; les problèmes que soulèvent les observations modernes sur la distribution réelle des étoiles dans l'espace ; les rapports de l'évolution stellaire avec les nébuleuses ; la nature des éléments que renferment ces objets dont les récentes découvertes portent le nombre à plusieurs dizaines de mille ; la liaison encore mystérieuse de l'âge des étoiles avec leurs vitesses propres ; l'aspect tourmenté de la Voie lactée qui, cependant, manifeste l'esquisse d'un plan bien défini ; toutes ces circonstances réunies concourent à nous suggérer qu'en matière de cosmogonie, prudence et réserve sont de plus en plus de rigueur.

Il est encore trop tôt pour essayer de retracer l'histoire passée de l'Univers ; bornons nos ambitions à la seule genèse du système solaire ; ce sera déjà un louable but à nos efforts.

Même en nous restreignant à ce champ d'action bien limité, l'idéal consisterait à remonter si loin en arrière que nous ne puissions concevoir un état plus simple de la substance matérielle. Hélas ! cet horizon éloigné que nous permettait d'entrevoir la science des deux derniers siècles, avouons-le, recule démesurément aux yeux du savant moderne.

L'élément ultime envisagé par Kant, Laplace et leurs successeurs est bien loin d'être simple ; c'est même un grave écueil pour une théorie que de le placer à la base de ses déductions et H. Poincaré a montré fort à propos, dans quel labyrinthe s'engagent les auteurs qui tablent sur les atomes et les molécules pour arriver à une condensation systématique de leur nébuleuse. Il est certain, en effet, que si l'on applique rigoureusement la loi de Maxwell (1) aux anciennes hypothèses nébulaires, on n'entrevoit aucun mécanisme qui puisse favoriser la production d'un disque générateur de planètes ; arrivât-on même à constituer des anneaux, la difficulté de les agglomérer en une masse unique subsiste entière et avec autant de force.

On a imaginé de tourner l'obstacle en substituant aux molécules, des corps tout formés, de véritables

(1) La loi à laquelle il est fait allusion ici se réfère à la répartition des vitesses des molécules gazeuses, dans la théorie cinétique.

météorites, conformément aux principes posés par Sir Norman Lockyer ; mais notons que si de tels objets ne circulent pas sur des orbites bien définies et soumises à la loi de gravitation, Sir Georges Darwin vous démontrera mathématiquement qu'un essaim météoritique est entièrement assimilable aux molécules vagabondes des gaz ; si, par hasard, quelques agglomérations parviennent à se former, nous verrons de nouveau surgir le *démon* automatique de Maxwell, organisateur du chaos.

A ces considérations de nature à mettre en suspicion les principes les moins discutés autrefois de la cosmogonie classique, s'en ajoutent quelques autres d'un ordre tout différent.

Notre système solaire dérive d'une nébuleuse. Soit. Mais, de ce que les orbites des planètes sont à peu près circulaires à l'heure actuelle, s'ensuit-il nécessairement que le volume primitif de notre nébuleuse se rapprochait de la forme sphérique ou ellipsoïdale ? Non, probablement, nous répondrait M. Belot, puisque je crois pouvoir obtenir un résultat analogue en partant de deux nuages gazeux se pénétrant mutuellement.

Gardons-nous donc de cette vieille méthode aristotélicienne, chère aux savants du moyen âge et qui prétendait résoudre les énigmes de la nature par une série de syllogismes où tout paraissait inattaquable, fors la majeure du premier. Méditons plutôt les enseignements de Bacon et que l'expérience soit toujours à la base de nos constructions scientifiques.

Avant de discuter cosmogonie, armons-nous de nos meilleurs télescopes et entreprenons, comme Wil-

liam Herschel, l'exploration méthodique de la voûte céleste. Nous ne tarderons pas à comprendre toute la portée des paroles qui terminent la préface des admirables *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques* : " Un fait qui frappe tout le monde, c'est la forme spirale de certaines nébuleuses ; elle se rencontre beaucoup trop souvent pour qu'on puisse penser qu'elle est due au hasard. On comprend combien est incomplète toute théorie qui en fait abstraction. Or, aucune d'elles n'en rend compte d'une manière satisfaisante et l'explication que j'en ai donnée moi-même par manière de passe-temps ne vaut pas mieux que les autres. Nous ne pouvons donc terminer que par un point d'interrogation ".

Ainsi s'exprimait Henri Poincaré en 1911 : tout en souscrivant aux paroles de l'éminent mathématicien, les astronomes ne désespèrent pas cependant d'arriver à des résultats positifs en ce qui concerne l'explication des nébuleuses spirales. Déjà, de savants jouteurs sont descendus dans l'arène ; l'avenir en amènera d'autres. Mais, avant d'engager la lutte, il faut déblayer le terrain et les abords n'en sont pas faciles. Ce travail préliminaire peut durer longtemps ; les essais qu'il a déjà fait naître n'en sont pas moins dignes d'intérêt.

La plupart des nouveaux auteurs ont commencé par introduire à la base de leurs théories une donnée qu'il faut considérer comme de première nécessité : la vitesse propre des systèmes stellaires. Toutes les étoiles sont en mouvement et l'Univers nous apparaît, en quelque sorte, aux dimensions près, comme une masse gazeuse dont les molécules



(d'après une photographie)

Grande Nébuleuse Spirale
des Chiens de Chasse ::

exécutent des trajectoires que nous pouvons considérer comme grossièrement rectilignes. Les nébuleuses elles-mêmes, autant que nous en pouvons juger par les mesures récentes effectuées sur quelques-unes d'entre elles, n'échappent pas à ces rapides translations.

Nous avons vu que M. Belot, dans son *Essai de Cosmogonie tourbillonnaire*, envisage le cas de la production d'une nébuleuse à anneaux définis par le fait que deux masses cosmiques peuvent se compénétrer. Mais le problème comporte une infinité de solutions. Au milieu de ces déplacements continuels, deux étoiles peuvent se rencontrer ; si le choc est oblique, ce qui est le cas général, les deux soleils, avant de se fusionner complètement, pourront acquérir une vitesse énorme de rotation, vitesse qui aura pour effet de lancer dans l'espace environnant deux jets gazeux tourbillonnant à la façon des pièces d'artifice. Nous aurions ainsi l'explication des nébuleuses spirales.

Il est certain que dans notre système, la matière ayant donné naissance aux planètes n'est rien comparativement à la masse du corps central. L'émission gazeuse provoquée par le choc pourrait donc largement suffire à constituer les deux branches spirales remarquées dans les nébuleuses. Peu à peu, en raison des résistances, des orbites circulaires se dessineraient et nous aurions l'image de notre système solaire.

Ainsi raisonne M. Arrhénius ; MM. Moulton et Chamberlin sont presque du même avis. Ces auteurs, toutefois, n'ont pas besoin d'un vrai choc pour

construire leur nébuleuse : il leur suffit que deux soleils passent très près l'un de l'autre pour en déduire des phénomènes analogues.

Dans ce dernier cas, en effet, d'énormes marées se soulèvent à la surface des deux astres, et ces marées, conformément à la loi de l'attraction newtonienne, doivent, nous le savons, se produire par paires, aux extrémités opposées d'un même diamètre. Dans ces conditions, les gaz protubérantiels, chassés de leur prison, peuvent prendre d'énormes vitesses et se répandre, comme dans l'hypothèse d'Arrhénius, sur de vastes régions.

Ainsi, dans l'un et l'autre cas, les nébulosités sortiraient des soleils, comme de leur source unique ; nos planètes en particulier, formées de la substance solaire, seraient destinées tôt ou tard à rentrer dans le sein de l'astre central, d'où elles pourraient ressortir à l'appel d'une étoile frôlant de trop près leur prison momentanée.

Rêveries ou réalités, ces vues audacieuses sur la genèse, la fin et la résurrection des mondes ?

Séduisantes elles le sont certainement, ces théories récemment écloses, mais hâtons-nous de le dire, elles soulèvent d'inextricables difficultés.

Les nébuleuses spirales que nous connaissons et dont nous avons approximativement mesuré la parallaxe sont énormes : dans leurs anneaux spiraloïdes s'enfantent, non de pauvres petits systèmes comme le nôtre, mais de vastes agglomérations, de véritables amas stellaires.

En admettant, par exemple, pour la nébuleuse bien connue d'Andromède, une distance minimum de

19 années-lumière, le calcul nous donne encore en nombres ronds un diamètre de 7500 milliards de kilomètres, 830 fois la grandeur du monde solaire tel que nous le connaissons !

La partie visible de la nébuleuse d'Orion s'étend sur une largeur de 5 degrés carrés : or, si nous supposons — selon toute vraisemblance — que l'étoile *thêta* Orion fait partie de l'ensemble, nous voyons qu'à cette distance, ces 5 degrés apparents occupent en réalité une surface dont le diamètre vaut 450 000 fois l'intervalle qui sépare le Soleil de la Terre, soit une fois et demie l'éloignement de *alpha* Centaure, notre voisine.

Et ce n'est là qu'un minimum : les photographies nous ont révélé des détails inconnus ; non seulement cette nébuleuse accuse de vastes formes spirales dont nous voyons les traces sur nos clichés, mais elle étend ses ramifications sur un espace d'au moins 20 degrés carrés !

Sans doute, beaucoup de nébuleuses spirales offrent des dimensions plus modestes et si notre système provient véritablement d'un objet de ce genre, il y a tout lieu de croire que, même à l'origine, il comptait parmi les plus faibles. Mais une théorie doit être générale et il faut beaucoup de bonne volonté pour admettre que deux soleils passant l'un près de l'autre puissent provoquer des jets gazeux capables d'ensemencer un espace aussi étendu que celui de la plupart des nébuleuses connues. Peut-être même la matière du géant Canopus, dont le volume vaut vraisemblablement trois millions de fois celui de notre Soleil, serait insuffisante pour peupler ...

champs célestes fourmillant aux pôles de la Voie lactée.

Et puis, si ce sont les soleils qui engendrent les nébuleuses, comment expliquer ces grands vides d'étoiles à leur périphérie ? « Préparez-vous à écrire, — disait William Herschel à sa sœur, lorsque son télescope balayait des régions obscures, — les nébuleuses vont arriver. » (1)

Il est cent fois plus logique de penser que les forces en jeu dans les nébuleuses sont centripètes et non centrifuges, comme le soutient M. See dans une théorie récente.

Si nous imaginons deux nuages cosmiques cheminant en sens inverse l'un de l'autre, ces deux nuages peuvent arriver à se rencontrer ou même à s'approcher assez l'un de l'autre pour que leur attraction mutuelle soude leurs extrémités voisines. Le mouvement continuera donc autour d'un centre qui aura tendance à s'accroître et le tout finira par présenter un système spiral à deux branches. Ainsi, pense l'astronome américain, se sont formées la plupart des nébuleuses.

Cette hypothèse d'une extrême simplicité est malheureusement loin de résoudre le problème ; elle n'explique pas, en particulier, comment beaucoup de nébuleuses peuvent, par ce procédé, nous présenter des vitesses perpendiculaires à leur plan principal ; de plus, pour rendre compte des faits observés, les

(1) D'après une découverte récente, beaucoup de nébuleuses seraient entourées d'une matière sombre. Ce fait n'infirme pas nos conclusions.

deux nuages de M. See doivent être à peu près égaux, sans quoi nous aurons des branches souvent dissymétriques, particularité que ne montrent presque jamais nos photographies.

La genèse du système solaire, d'après le même auteur, ne nous paraît guère plus heureuse. On pourrait l'appeler, à juste titre, la théorie de la capture. A l'origine, prétend M. See, le Soleil était entouré d'une atmosphère nébulaire tournant avec lui. Les corps circulant dans l'espace et que le hasard amenait dans nos régions, eurent-ils la chance malencontreuse de pénétrer dans cette atmosphère ; immédiatement leur trajectoire s'infléchissait en raison de la résistance ; d'hyperboliques les orbites devenaient elliptiques et enfin circulaires.

Qualitativement, le phénomène en question peut se produire, et les astronomes n'avaient pas attendu l'analyse de M. See pour montrer l'effet d'un milieu résistant sur les orbites décrites par les planètes ou les comètes. Encke, dès 1819, usait déjà du même procédé pour tenter d'expliquer les inégalités singulières constatées dans la marche de la comète périodique qui porte son nom.

Mais, quantitativement, il y a lieu de chercher quelle énorme densité devrait posséder un milieu résistant pour transformer même les orbites paraboliques en trajectoires circulaires, surtout lorsqu'il s'agit de masses aussi grosses que celles de nos planètes.

On peut dire, il est vrai, qu'à l'origine, les masses qui ont pénétré dans l'atmosphère résistante du Soleil étaient faibles, quelque chose comme nos têtes

de comètes qui ne constituent que des essaims de météores, et qu'après la capture celles-ci se sont nourries par bombardement. Mais il reste à montrer pourquoi les grosses planètes ont été toutes captées de manière à circuler dans un plan commun très voisin de celui de l'écliptique et pourquoi toutes, sans exception, même les astéroïdes dont les inclinaisons sont parfois très fortes, tournent autour de leur corps central dans un seul sens, le sens direct.

Telle est, résumée à larges traits, l'histoire des idées cosmogoniques. Nulle tentative, nous le comprenons mieux maintenant, n'est plus déconcertante pour l'esprit humain que celle qui consiste à remonter pas à pas les étapes qu'a traversées l'Univers. Là où ont échoué des savants comme Laplace, d'autres auront-ils le bonheur de parvenir au port ? Notre science est encore trop peu avancée pour qu'il ne soit pas téméraire et prématuré de l'affirmer. Mais ce qu'il nous faut répéter pour encourager les chercheurs, c'est que, dans ce problème ardu posé à la raison humaine, les solutions même négatives constituent encore un réel progrès.

Ne perdons jamais de vue, en effet, qu'en éliminant les théories caduques et incomplètes, nous préparons la voie de ceux qui chanteront cette merveilleuse épopée de l'origine et de l'évolution des mondes.

TABLE DES MATIÈRES

Pages

Imprimerie de l'Industrie Moderne, 3, Passage Louvet, PARIS-XVe



